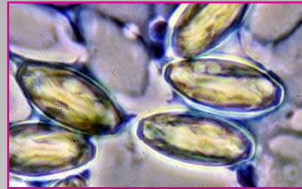


Phylum: **Glomeromycota**



Phylum: **Microsporidia**



Subphyllum insertae sedis:

Mucoromycotina



Entomophthoromycotina

Zoopagomycotina

Kickxellomycotina



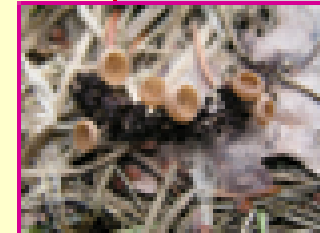
Říše: FUNGI

Older classification of Fungi in 3rd Century Guidebook to Fungi Wilson D.,
Robson D.G., Trina P.J 2011

Říše: EUMYCOTA (Fungi, pravé houby)

Phylum:

- Chytridiomycota (706 species in 105 genera)
- Blastocladiomycota (179 species in 14 genera)
- Neocallimastigomycota (20 species in 6 genera)
- Microsporidia (1300+ species in 170 genera)
- Glomeromycota (169 species in 12 genera)
- Ascomycota (64 163 species in 6355 genera)
- Basidiomycota (31 515 species in 1589 genera)

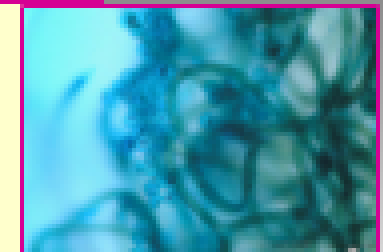
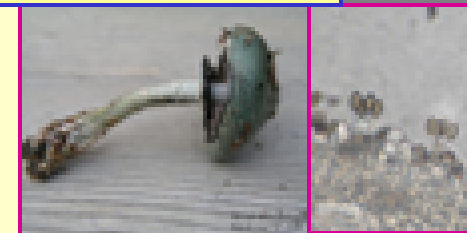


Podříše: Dikarya

Subphylum:

dříve phylum Zygomycota

- Mucoromycotina (*insertae sedis*)
- Entomophthoromycotina
- Zoopagomycotina
- Kickxellomycotina



Říše: Chromista

Phylum: Oomycota

Ph: Hyphochytriomycota

Ph: Labyrinthulomycota

Říše: Protozoa*

Phylum: Plasmodiophoromycota

Ph: Acrasiomycota

Ph: Myxomycota

Ph: Chanozoa



Vesikulo arbuskulární mykorrhiza

Glomeromycota : Archaeosporales, Glomales, Paraglomales, Diversisporales

1. coenocytické mnohoaderné mycelium, hyfy s krátkou životností (5-6 dní)
2. Uvnitř buněk rostliny: Apresoria, arbuskuly, vesikuly
3. Vně kořene: mycelium, spóry – azygospóry a chlamydospóry, auxilární buňky, sporokarpy (*Sclerocystis* sp.)
4. biotrófní houby
5. Kultivace pouze v nádobách s rostlinou, nebo na transformovaných kořínkách mrkve
 - Taxonomie je postavena na morfologických a cytochemických vlastnostech spór a na molekulárních metodách

Vnitřní mycelium:

- Kořenové hyfy intercelulární
- Arbuskuly
- vesikuly

Externí hyfa

Formace apresoria

at entry point

Intracelulární
hyfa

vesikulus

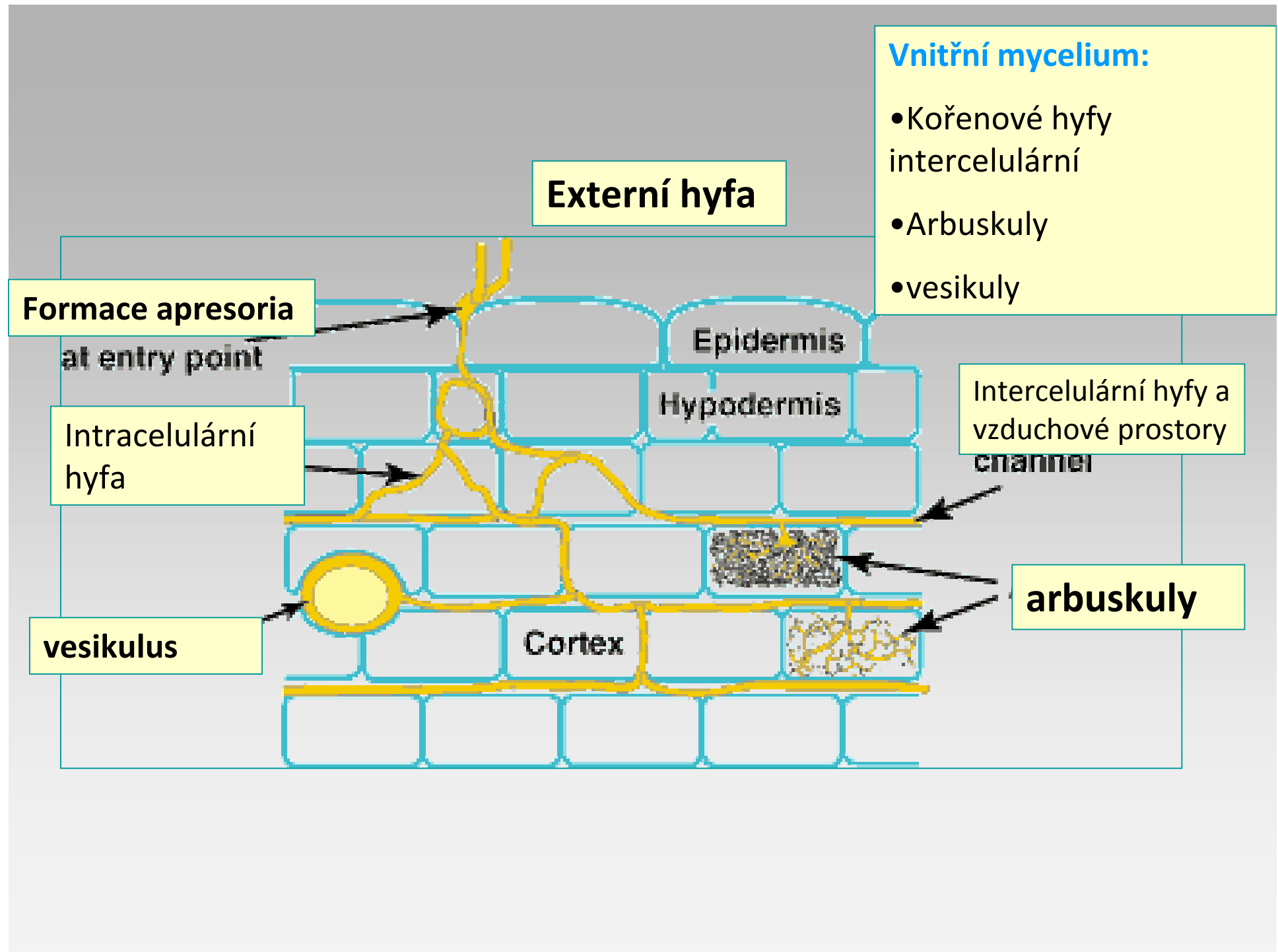
Epidermis

Hypodermis

Intercelulární hyfy a
vzduchové prostory
channel

Cortex

arbuskuly



Houba poskytuje rostlině:

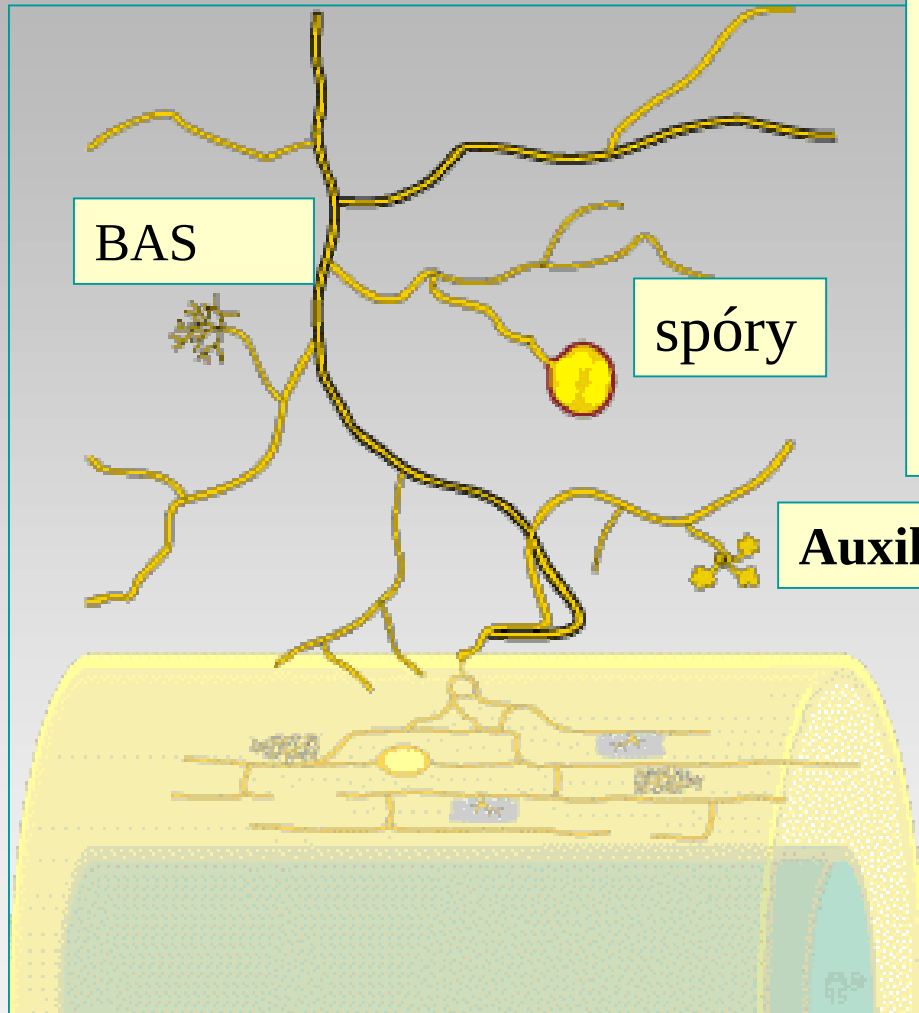
- Zpřístupňují minerální výživu (P,N) a vodní režim (zvyšují absorpční plochu kořene, hyfy penetrují do půdních mikropórů, vnější hyfy se koncentrují v místech, kde je vyšší obsah organického materiálu – mineralizace substrátu)
- Uchovávání zásobních látek
- Zvyšují energetický potenciál rostliny a tzv. poměr mezi kořenem:nadzemní částí
- Zvyšují rezistentní mechanismy rostlin
- Kompetiční a antibiotické interakce s patogenními houbami pro rostlinu

Rostlina poskytuje houbě:

- Vodní prostředí
- Produkty fotosyntézy – C látky
- **aminokyseliny**

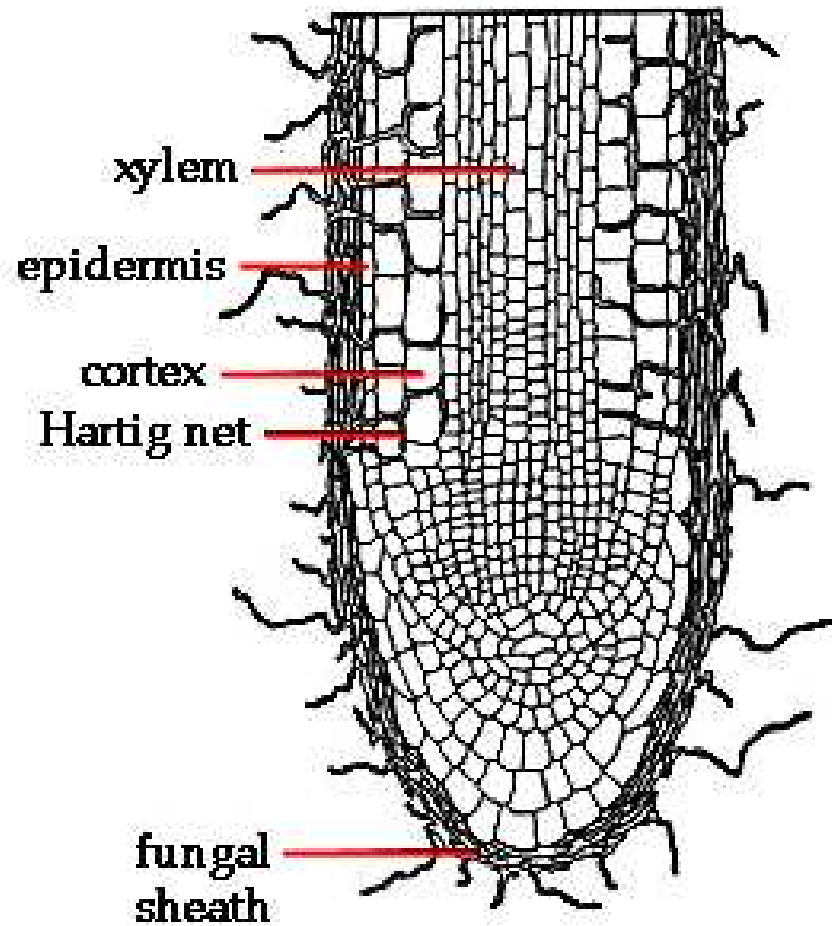
Hyfy VAM hub v půdě (vnější mycelium):

- kontaktní hyfy – dlouhé, štíhlé (vyhledávají hostitele a zdroje)
- Hyfy s distribuční funkcí (Přivaděče)
- Absorptivní hyfy (silné, sklerotizované)
- Rozvětvené absorptivní struktury (BAS)
- Jemné proliferační hyfy

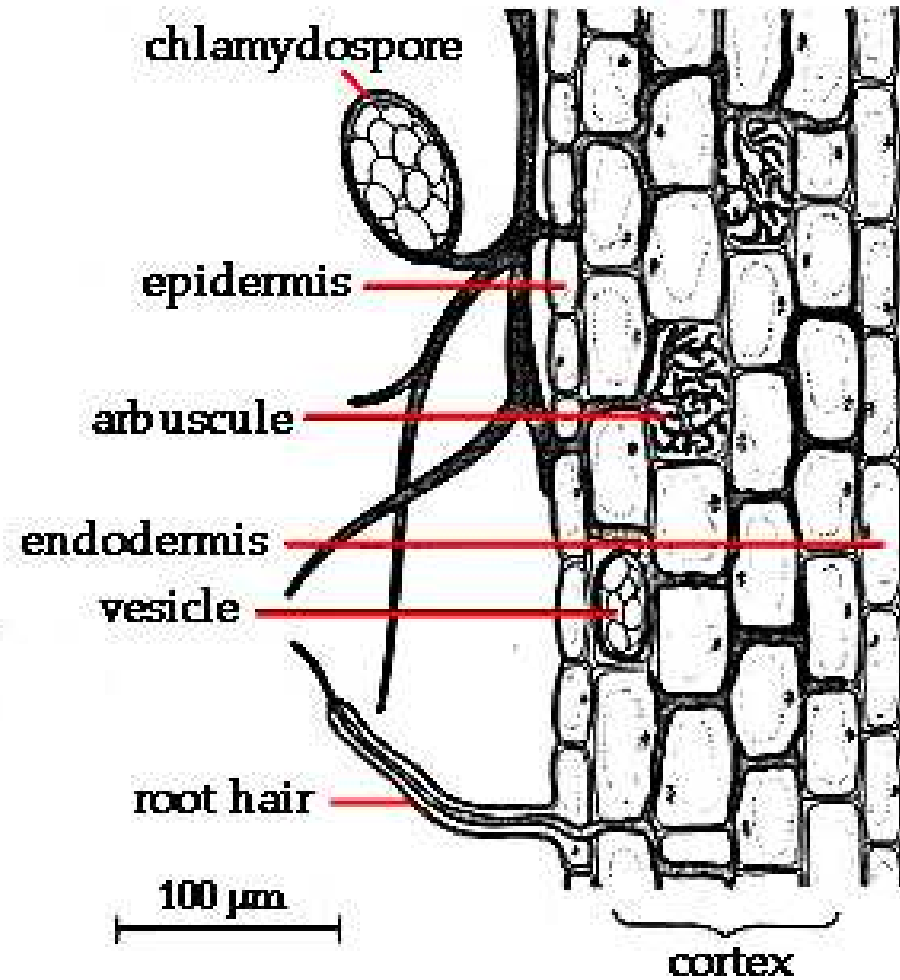


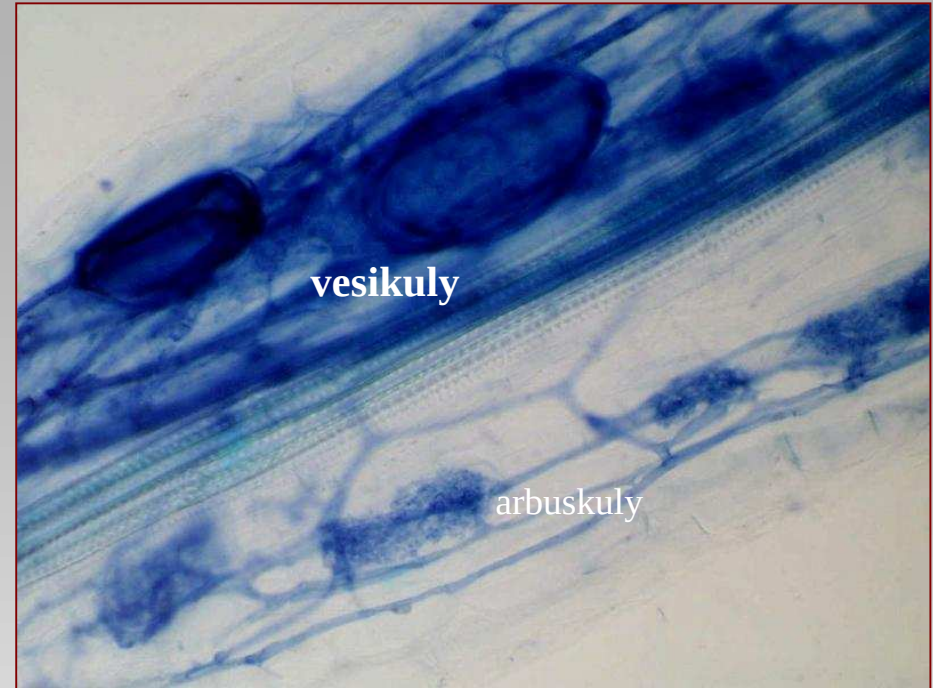
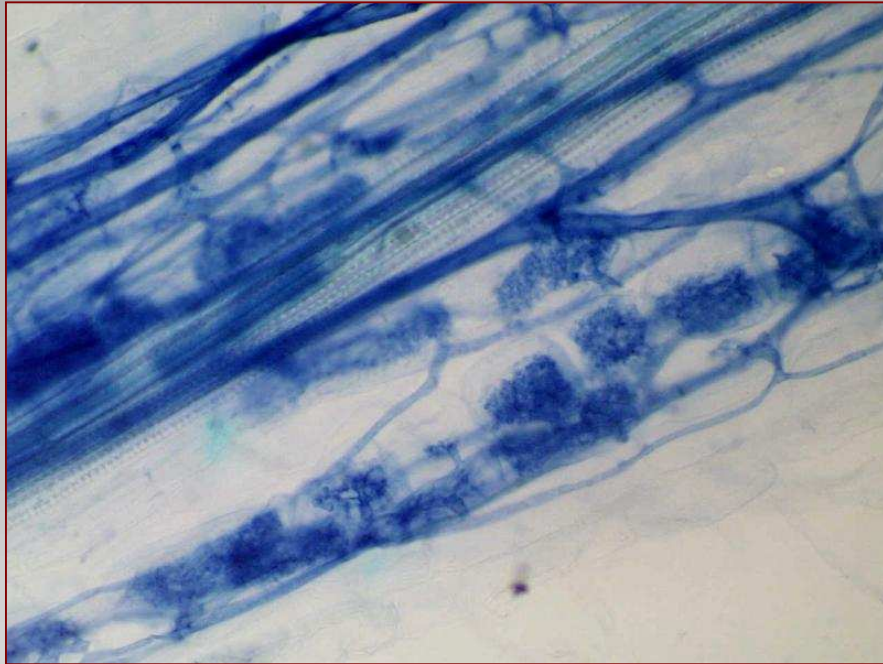
Sporokarp – Sclerocystis sp.

Ectomycorrhizae



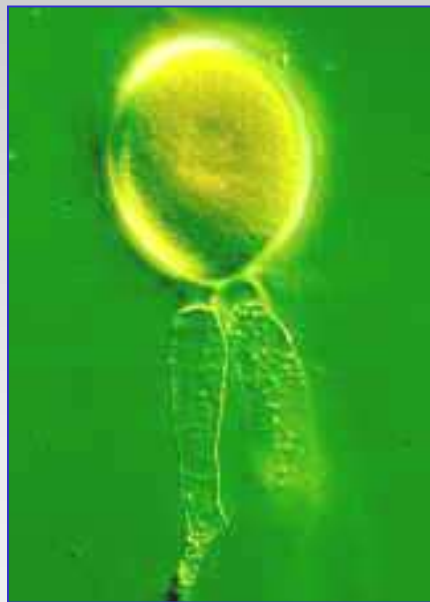
Endomycorrhizae





Řád: **Endogonales**

-sporokarpy se
zygosporangii



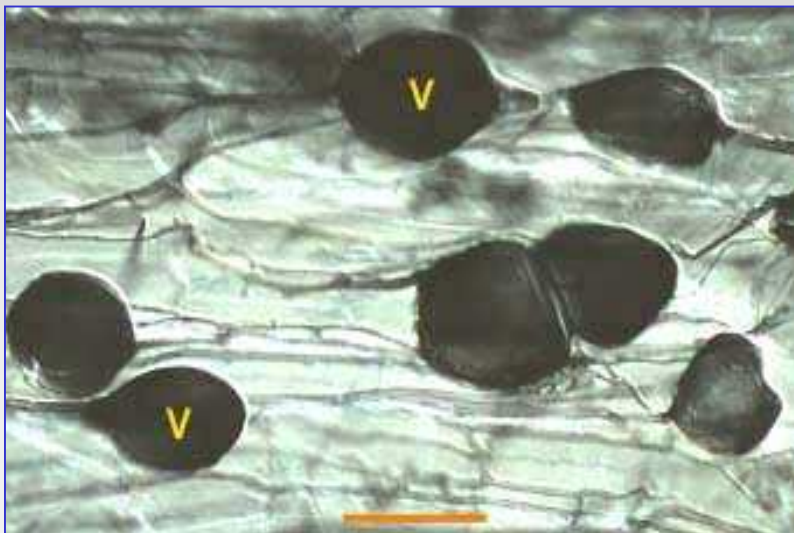
Sporokarp – *Sclerocystis* sp.

Řád: **Glomales** (odd: **Glomeromycota**)

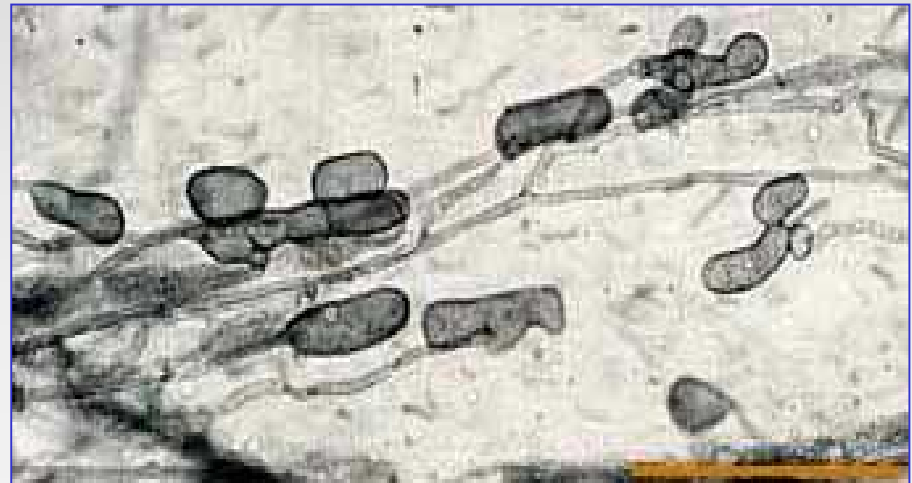
rody: *Acaulospora*, *Entropospora*, *Gigaspora*, *Sclerocystis*
Scutellospora

- azygospory + auxilární buňky (*Gigaspora*)
- chlamydospory, sporokarp (*Acaulospora*, *Entropospora*)

Glomus (kořen jetele)

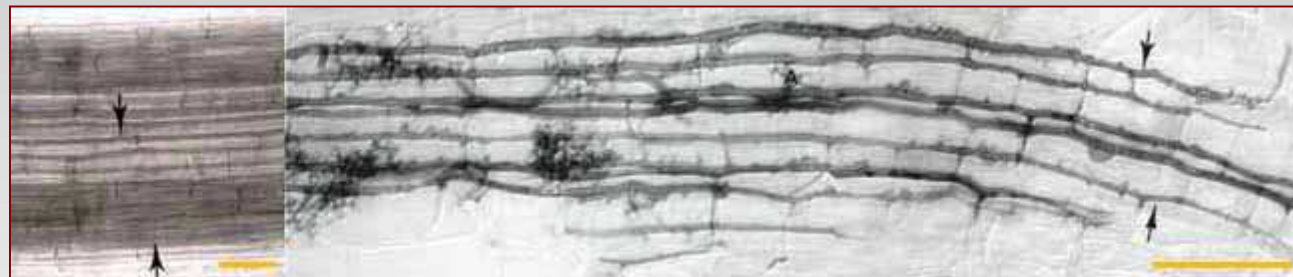


Acaulospora (kořen cibule)





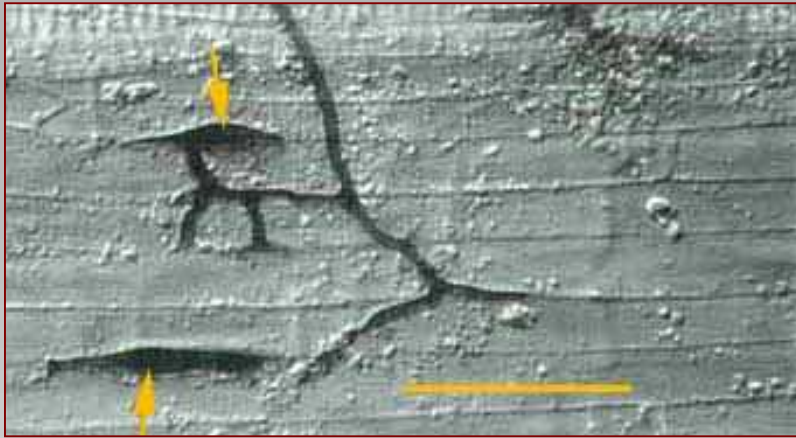
arbuskuly - *Glomus mossae*



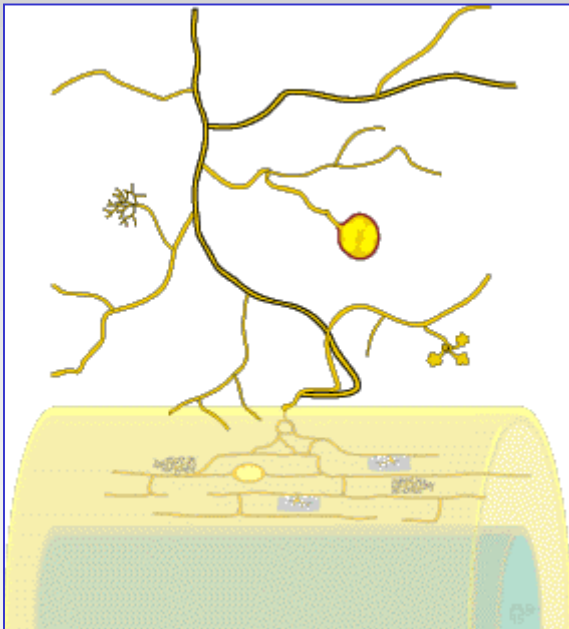
A/ intercelulární růst VAM hyf

B/ longitudiální růst hyf VAM hub kortexovými buňkami
(*Glomus versiforme*)

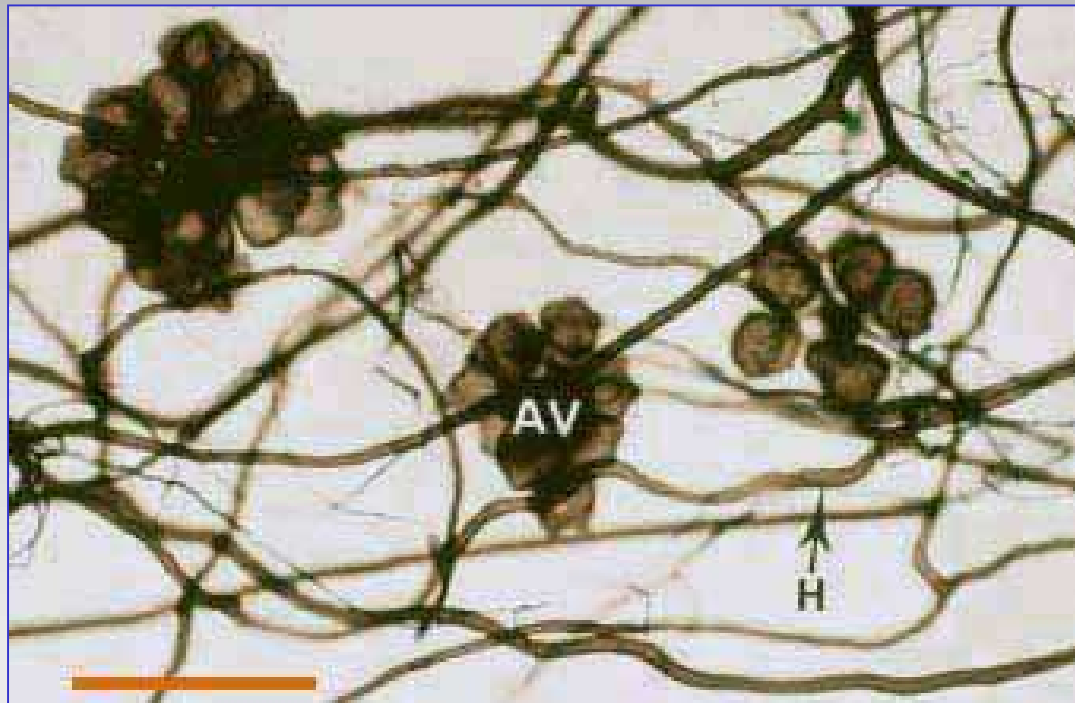
Apressoria při kolonizaci kořene



Gigaspora sp

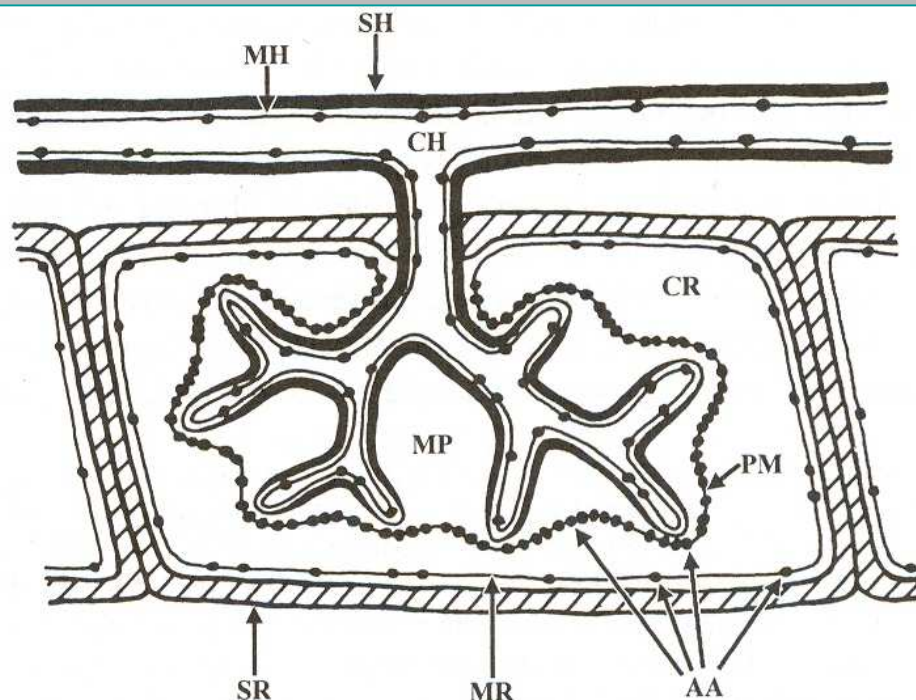


Auxilární buňky- *Scutellospora* sp.



Arbuskula – orgán uvnitř buňky kořenové kůry, vidličnatě větvená hyfa

Životnost arbuskuly je omezena na 10-14 dní, pak je rostlinou enzymaticky rozpuštěná



Obr. 12 Schéma arbuskuly: SR – buněčná stěna hostitelské rostlinné buňky, MR – cytoplazmatická membrána rostlinné buňky, CR – cytoplazma rostlinné buňky, CH – cytoplazma buňky houby, MH – cytoplazmatická membrána buňky houby, SH – buněčná stěna buňky houby, PM – periarbuskulární membrána (= vchlípená cytoplazmatická membrána rostlinné buňky), MP – mezilehlý prostor, AA – lokalizace ATPázové aktivity.

Sclerocystis rubiformis, young sporocarp



Auxilární buňky

Scutellospora reticulata



© Yolande Dalpé
ECORC Ottawa

Scutellospora calospora



spóra

G.mosseae, young spore



© Yolande Dalpé
ECORC Ottawa

Phylum: **Microsporidia**

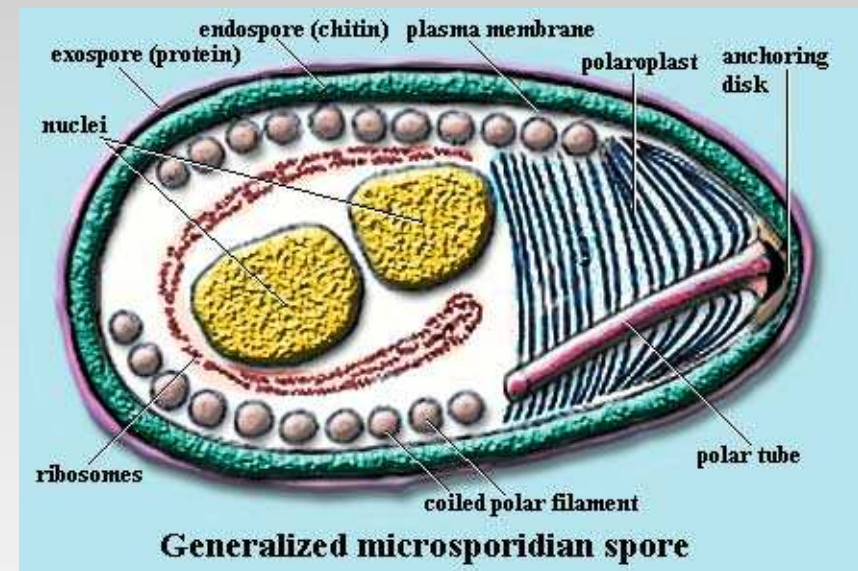
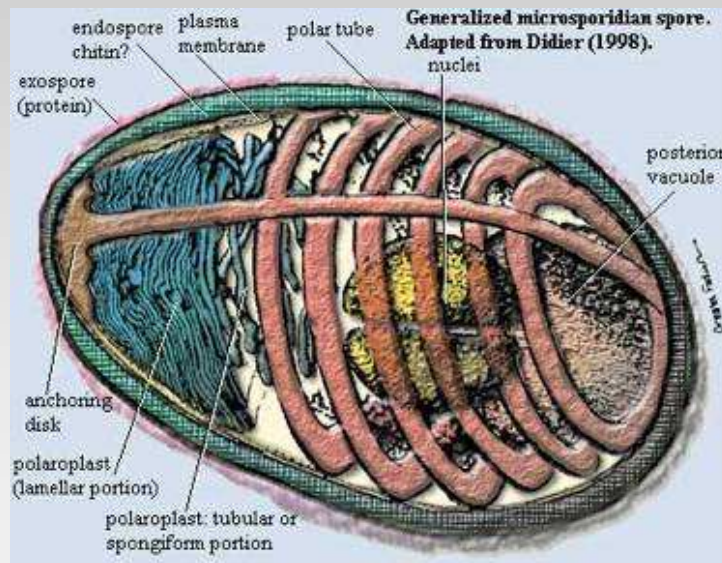
Microsporidie jsou obligátní buněční parazité obratlovců a členovců

Cca 1200 druhů a 143 rodů

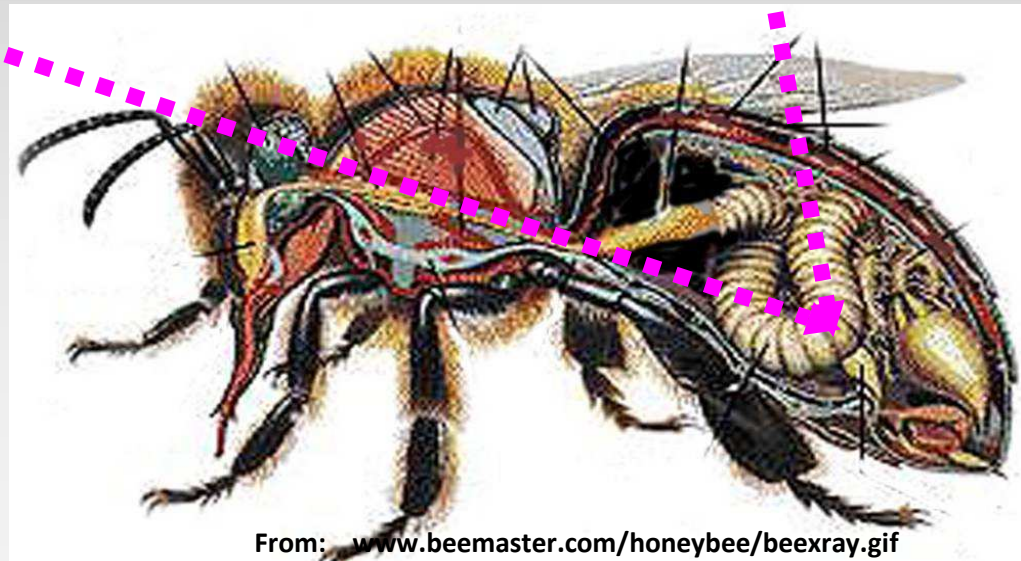
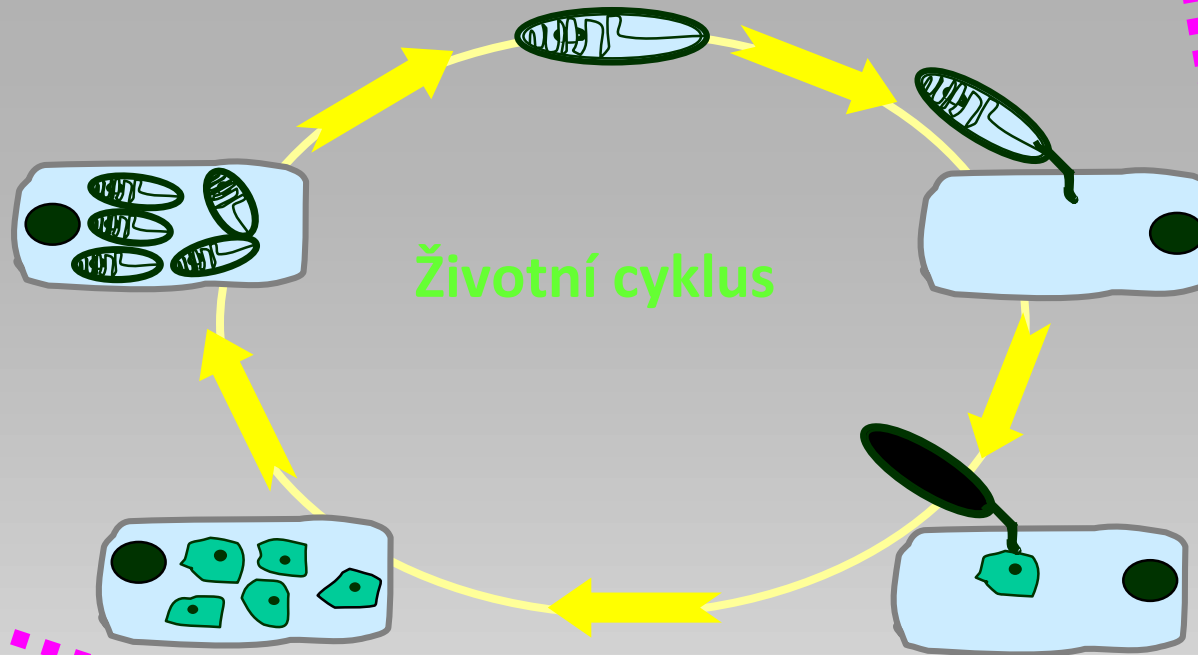
Původně byly řazeny do Protist

Objevené na konci 18st, jako lidský patogen 1959

- Eukaryotické organismy dobře definovanou plasmatickou membránou
- Postrádají mitochondrie, golgiho aparát a peroxizomy
- Spóry rezistentní, dlouhopřeživné (1-4 μm)
- Mají typické polarizované vlákno a posteriorní vakuolu
- Exosporická membrána je tvořena proteinem a chitinem
- Polarizovaným vláknem je sporoplasma injektována do hostitelské buňky osmotickým tlakem
- Rozmnožují se nepohlavně (dělením) a pohlavně (autogamní fúze a reorganizace genetického materiálu)



Životní cyklus



From: www.beemaster.com/honeybee/beexray.gif



KINGDOM: Fungi

PHYLUM: Microsporidia

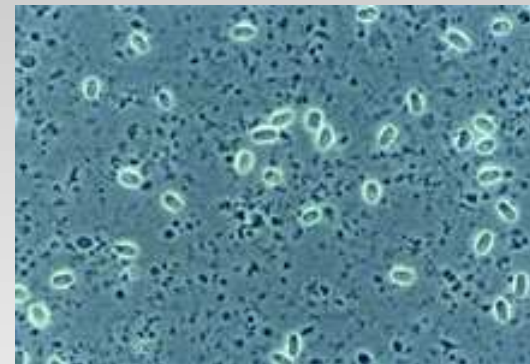
FAMILY: Nosematidae

GENUS: Nosema

SPECIES:

Nosema apis

- Parazitují v zažívacím traktu včel
- Spóry se ke včelám dostávají kontaminovanou vodou a potravou
- Spóry injektují sporoplast do zažívacího traktu, množí se
- Zažívací ústrojí se zbarvuje do běla, průjemové symptomy – dehydratace, plouživé chování včel
- Šíří se horizontálním (potrava, voda) i vertikálním (přes vajíčka, larvy etc.) přenosem v populacích včel
- Vysoká úmrtnost včelí populace



Subphylum: **Mucoromycotina**

Řád: **Mucorales**

- **Rychle rostoucí druhy hub**
- **Většina jsou saprofyty vyskytující se na organických substrátech:**
 - ovoce
 - půdní saprofyty
 - koprofilní druhy
- **Příležitostní parazité – onemocnění lidí a zvířat**
- **Některé druhy produkují důležité organické kyseliny a proto se využívají v biotechnologiích** (*Rhizopus stolonifer* - kyselina fumarová, *Rhizopus oryzae* – alkohol, *R. sinensis* – kyselina mléčná, výroba potravin v Asii – tempeh, sojová omáčka apod.)
- **Mikroskopické rozměry**

Řád: Mucorales

- coenocytická hyfa (bez přepážek) mnohoaderná
- buněčná stěna obsahuje: chitin, **chitosan**, kyselinu polyglukouronovou
- **mycelium** 1/coenocytické, extensivní
- 2/ redukované
- 3/ dimorfické
- (vláknité i kvasinkovité formy)



Řád: Mucorales

1. Somatické struktury

- aseptátní dobře vyvinuté mycelium, protoplazmatický tok zřetelný, hyfy -vícejaderné

- rhizoidy

- stolony

- septy oddělují reprodukční struktury
mnohoporézní



Absidia sp.

Kavkova BFJU 2004

Nepohlavní rozmnožování

- **sporangiospóry** (spóry) (konidie, chlamydospóry, arthrospóry)

se tvoří ve sporangiu.

- **sporangium** (kolumelátní struktura)

50-100 spór (100.000)

-monosporické

-multisporické

Sporangium vyrůstá na sporangiofóru.

- **sporangiofór** (= specializovaná hyfa)

- **sporangiola** (kolem 30 spór) morfologické odlišnosti, nemusí mít kolumelu

merosporangia - cylindrická, dlouhé struktury se sporami často uspořádanými v řadě (typ sporangioly)

2. Nepohlavní rozmnožování

1. Sporangia kolumelátní (př. *Mucor* sp.)(obovoidní, obpyriformní)
vs. nekolumelátní

a/ **apofýzy** - apofyzátní sporangia (*Absidia* sp.)

b/ **neapofyzátní sporangia** (*Mucor* sp.)

c/ **sporangialní váček** (*Fennellomyces* sp.)

2. Sporangiole

3. Merosporangia (*Syncephalastraceae*)

4. Spóry - tvar, povrch, barva, chlamydospóry, arthrospóry



Absidia coerulea

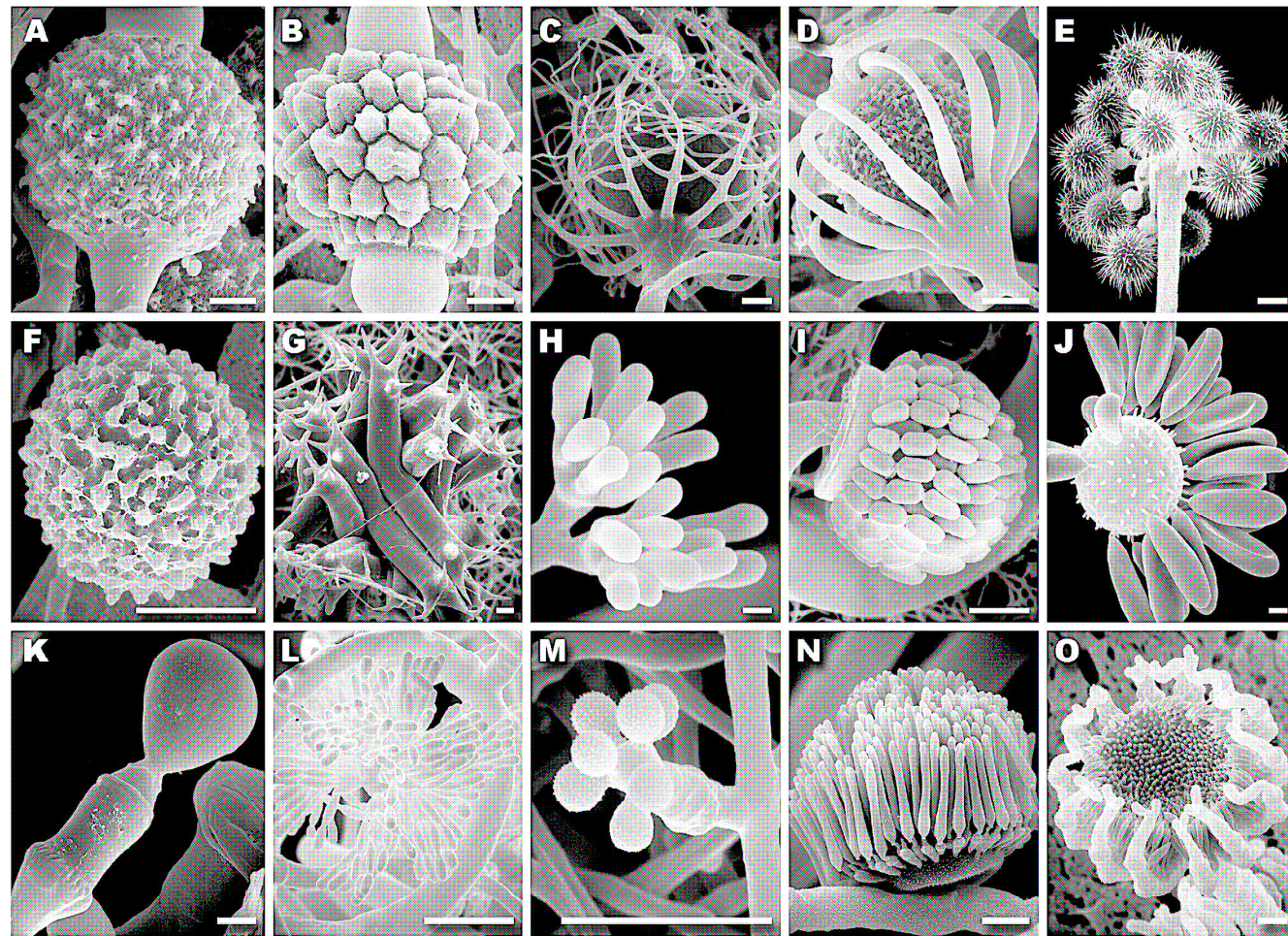
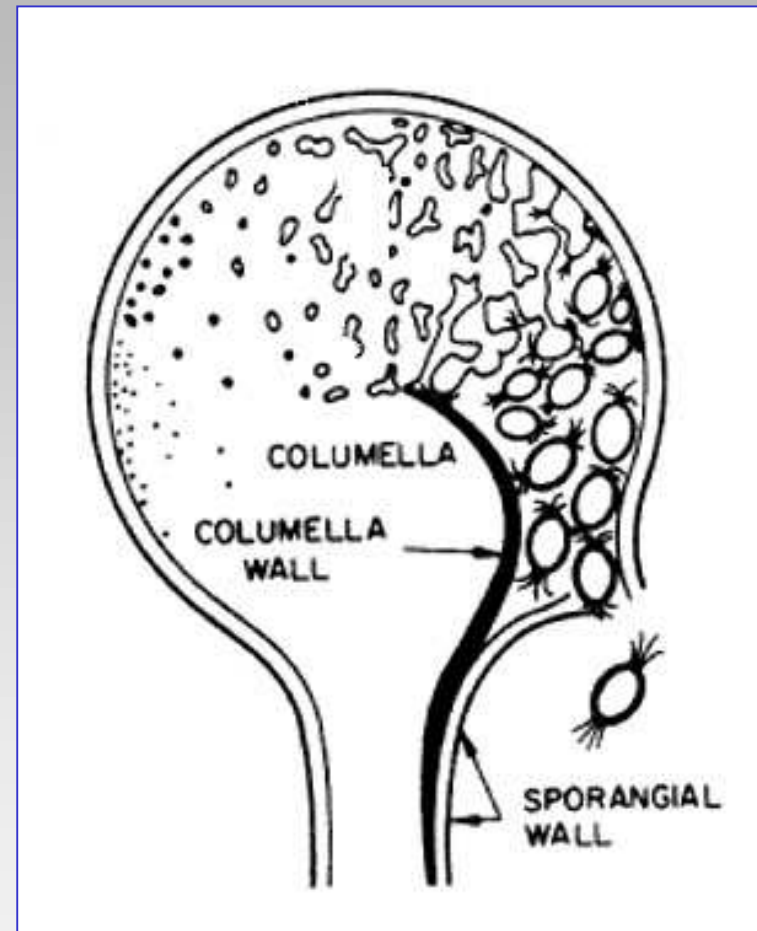
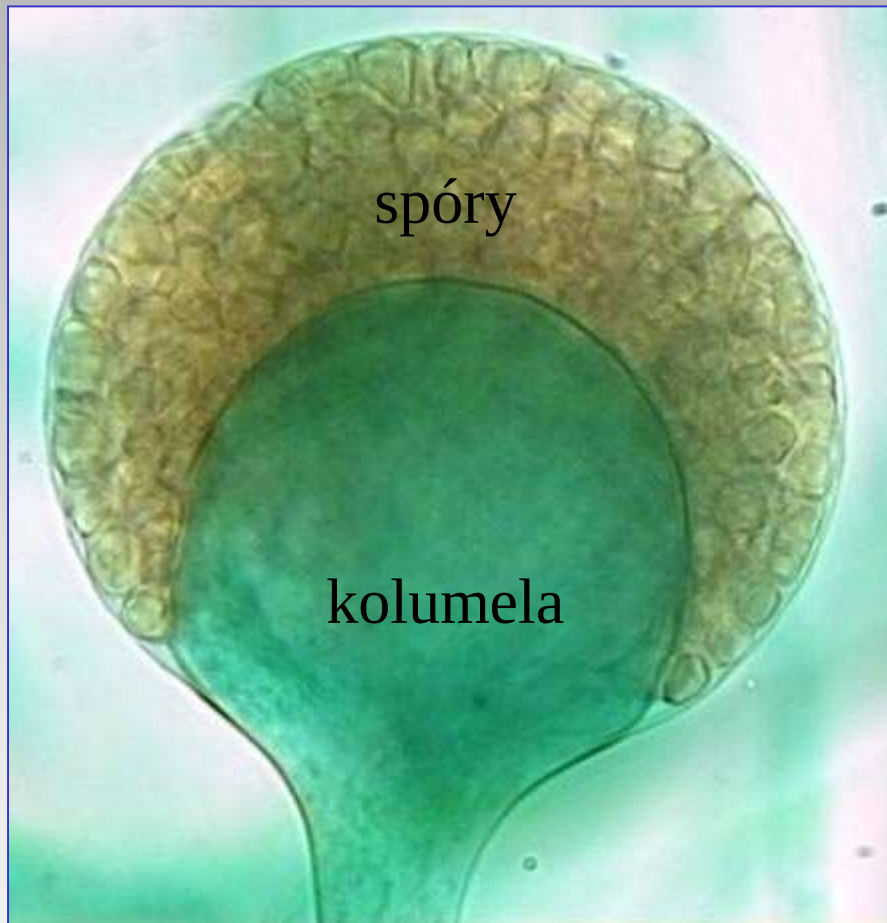


FIG. 2. Scanning electron micrographs of Zygomycetes illustrating morphological diversity of sexual and asexual reproductive structures. A–E. Mucorales. Zygospores of A. *Cokeromyces recurvatus*, B. *Cunninghamella homothallicus*, C. *Radiomyces spectabilis* and D. *Absidia spinosa*. E. *Hesseltnella vesiculosa* sporangia. F–G. *Mortierellales*. F. *Mortierella* (*Gamsiella*) *multidivariata* chlamydospore. G. *Lobosporangium transversalis* sporangia borne on arachnoid mycelium. H–J. *Zoopagales*. H. *Piptocephalis cormbifera* immature sporangia. I. *Syncephalis cornu* sporophore bearing senescent sporangia with uniseriate sporangiospores. J. *Rhopalomyces elegans* fertile vesicle with monosporous sporangia. K. *Basidiobolus ranarum* monosporous sporangium. L. *Dimargaritales*. *Dispira cornuta* two-spored sporangia. M–O. *Kickxellales*. Monosporous sporangia of M. *Spiromyces minutus*, N. *Linderina pennisporea* and O. *Kickxella alabastrina*. Bars: A–F, I–O 50 μ m; G, H 5 μ m.

White, Merlin M., James, Timothy Y., O'Donnell, Kerry, Cafaro, Matias J., Tanabe, Yuuhiko, Sugiyama, Junta
Phylogeny of the Zygomycota based on nuclear ribosomal sequence data
Mycologia 2006 98: 872-884

Nepohlavní kolumelátní sporangium



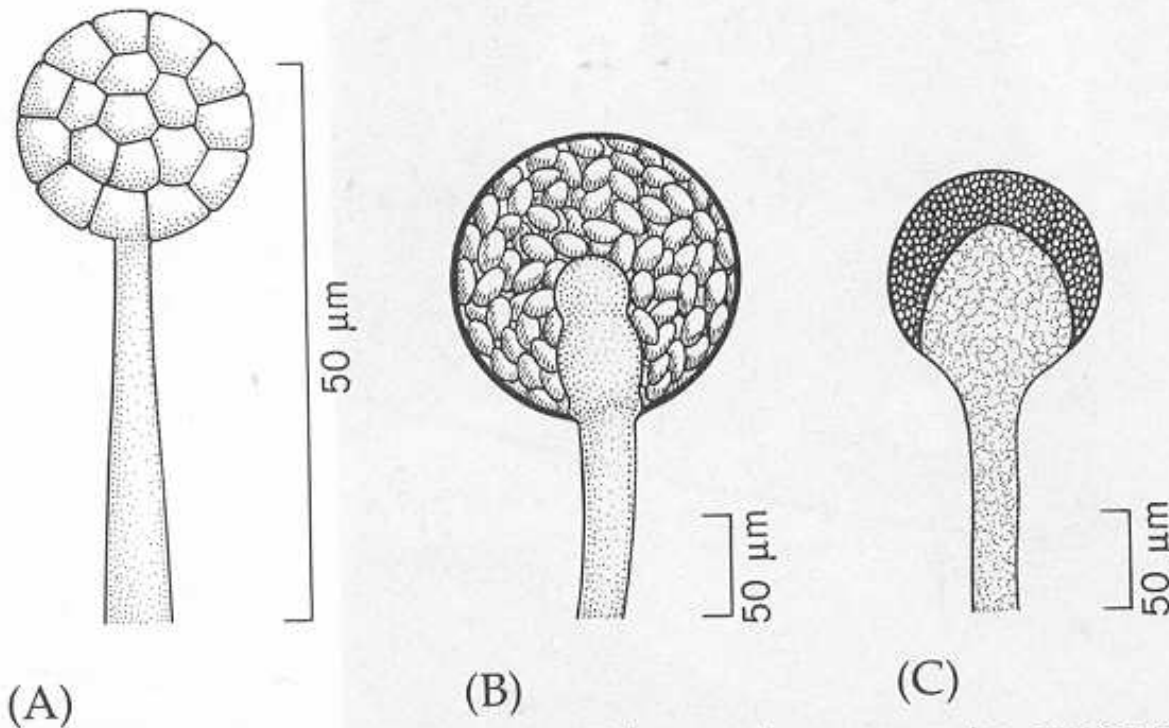


Figure 5-3 Examples of multispored zygomycete sporangia. (A) A columellate sporangium of *Dissophora decumbens*. (B) Non-apophysate sporangium of *Choanephora trispora* with a prominent columella extending into sporangium. (C) Apophysate sporangium of *Rhizopus stolonifer*. Bars = 50 μm . [Redrawn by Carol Gubbins Hahn from O'Donnell (1979) with permission of the author.]

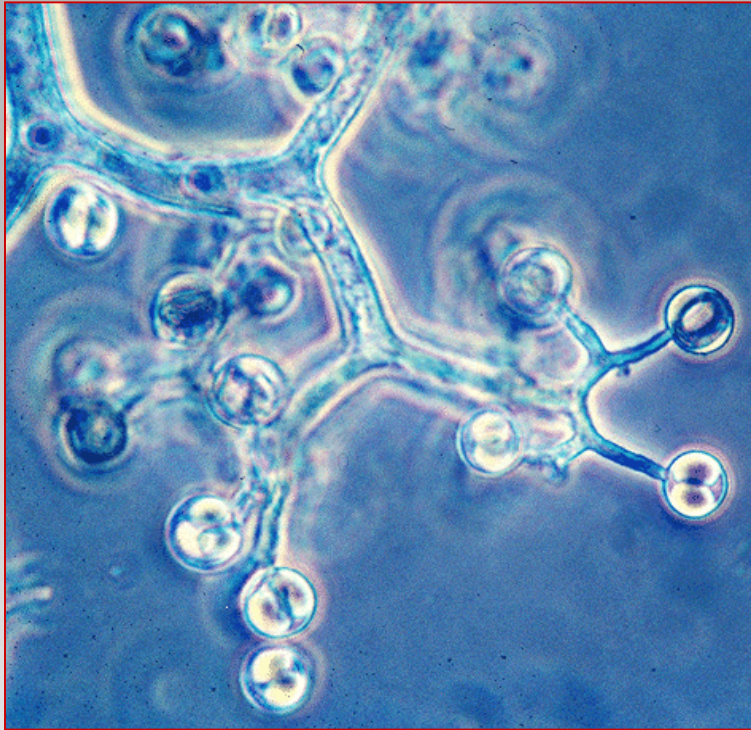
Syzigites megalocarpus



Dissophora decumbens



Sporangiola - *Thamnidium elegans*

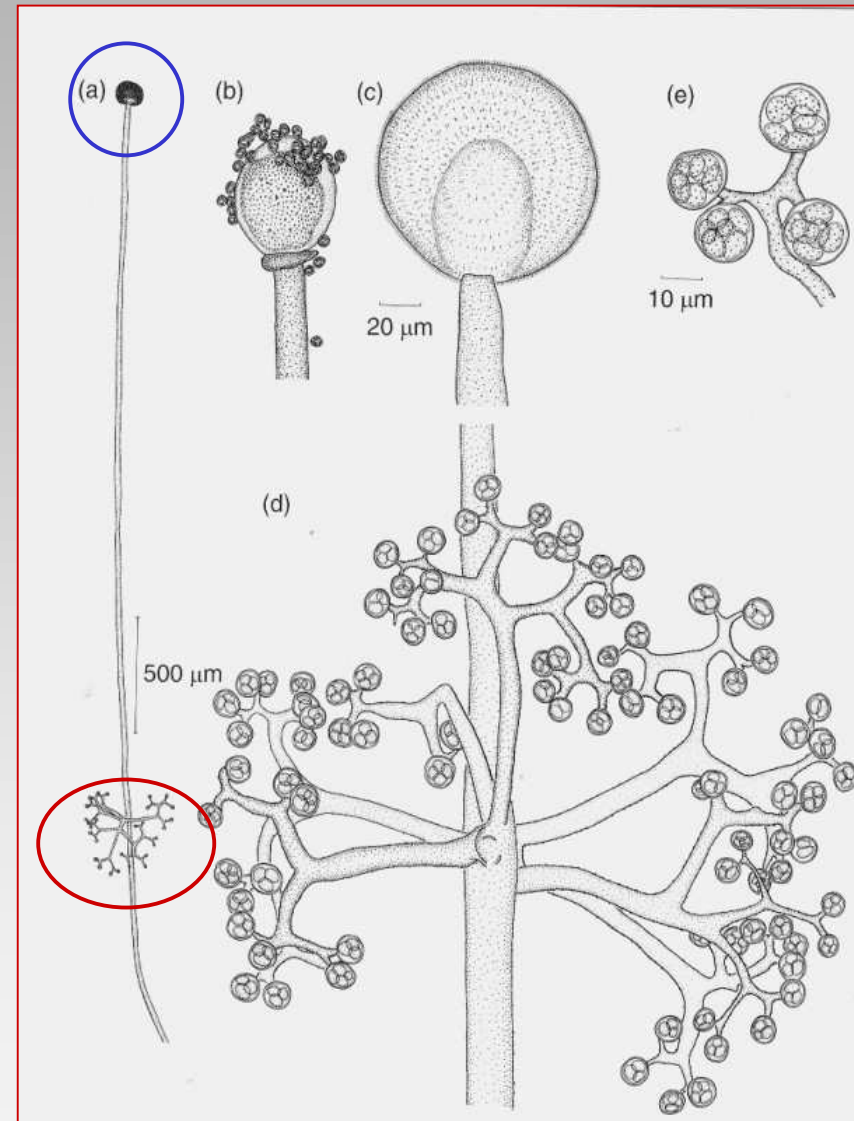


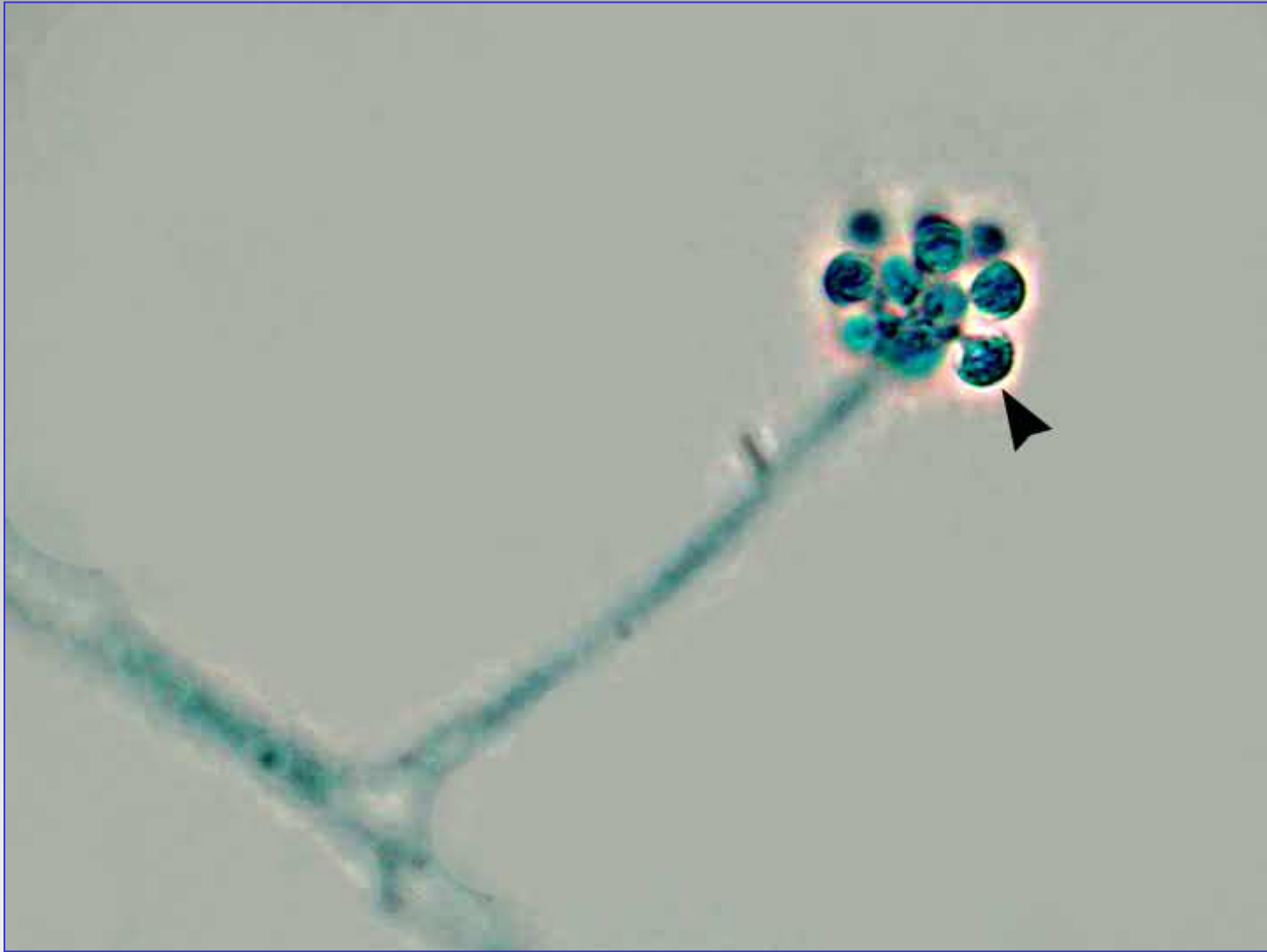
a-sporangiofór nesoucí sporangium a laterárně větvenou část nesoucí sporangiolu

b-kolumela a uvolněné spóry

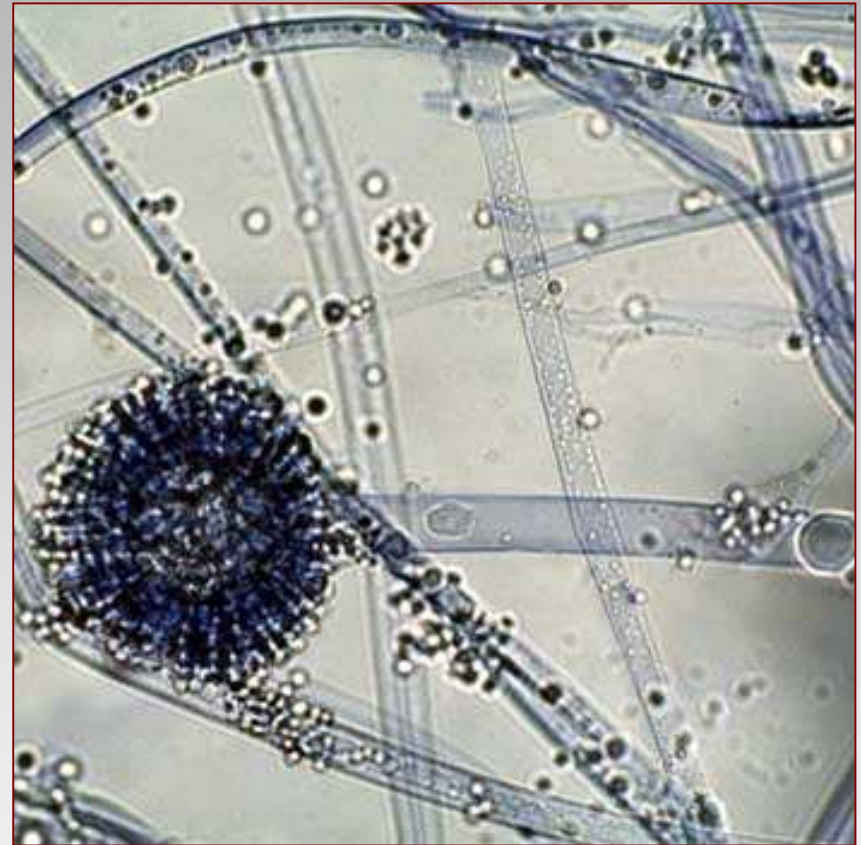
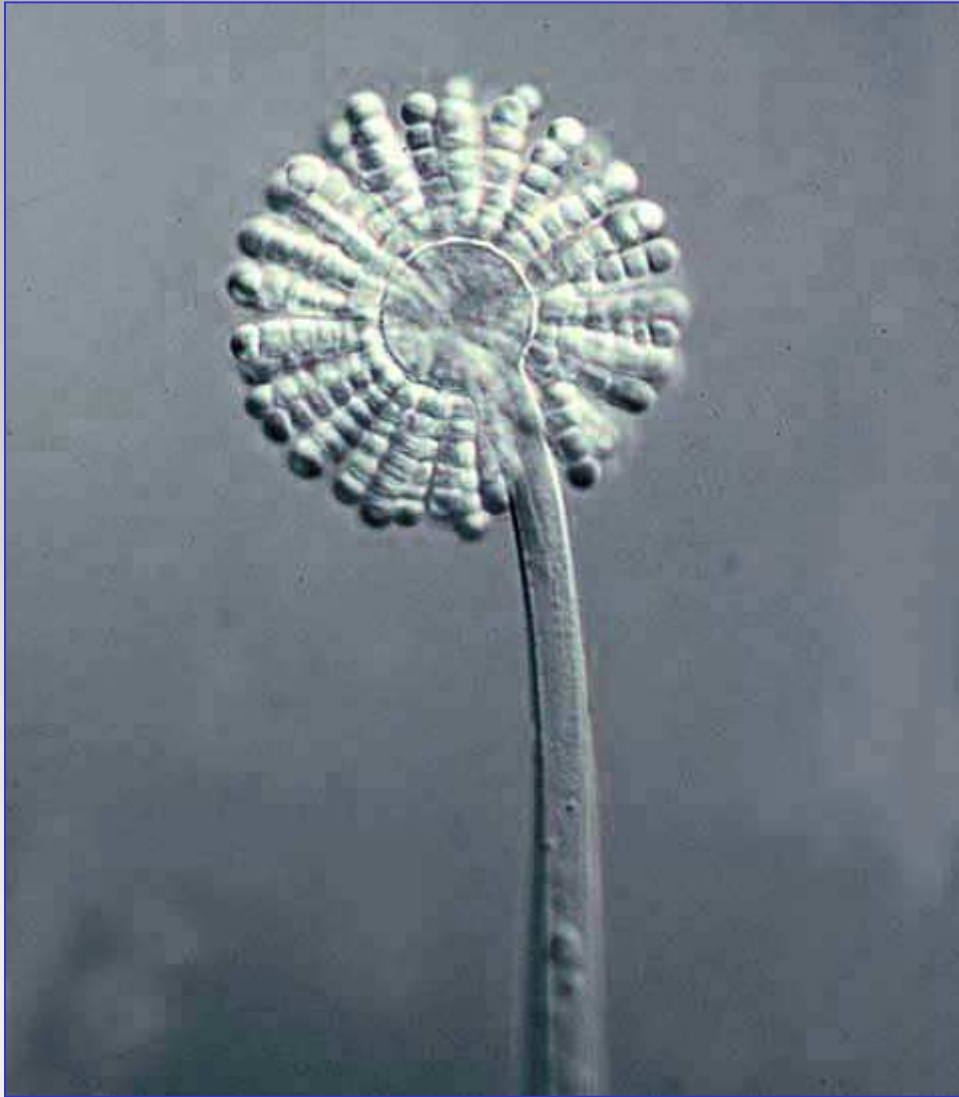
c- nevyzrálé sporangium s kolumelou

d-sporangiofor s dichotomicky větvený se sporangiolami (nemají kolumelu)



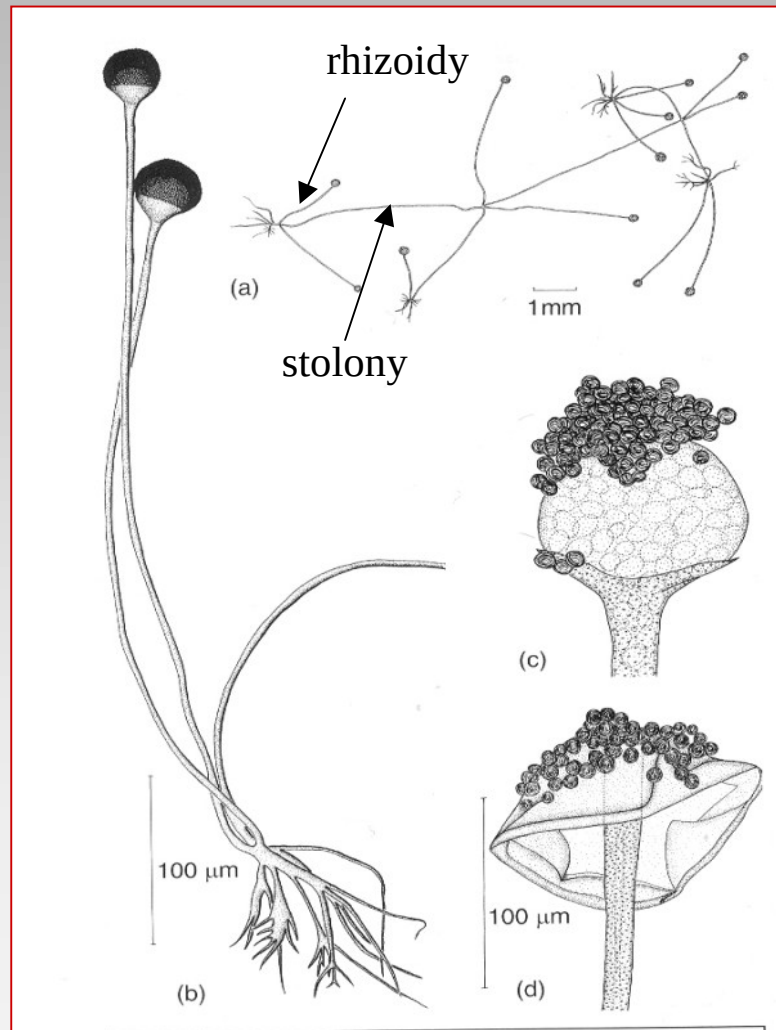


Syncephalastrum - merosporangium

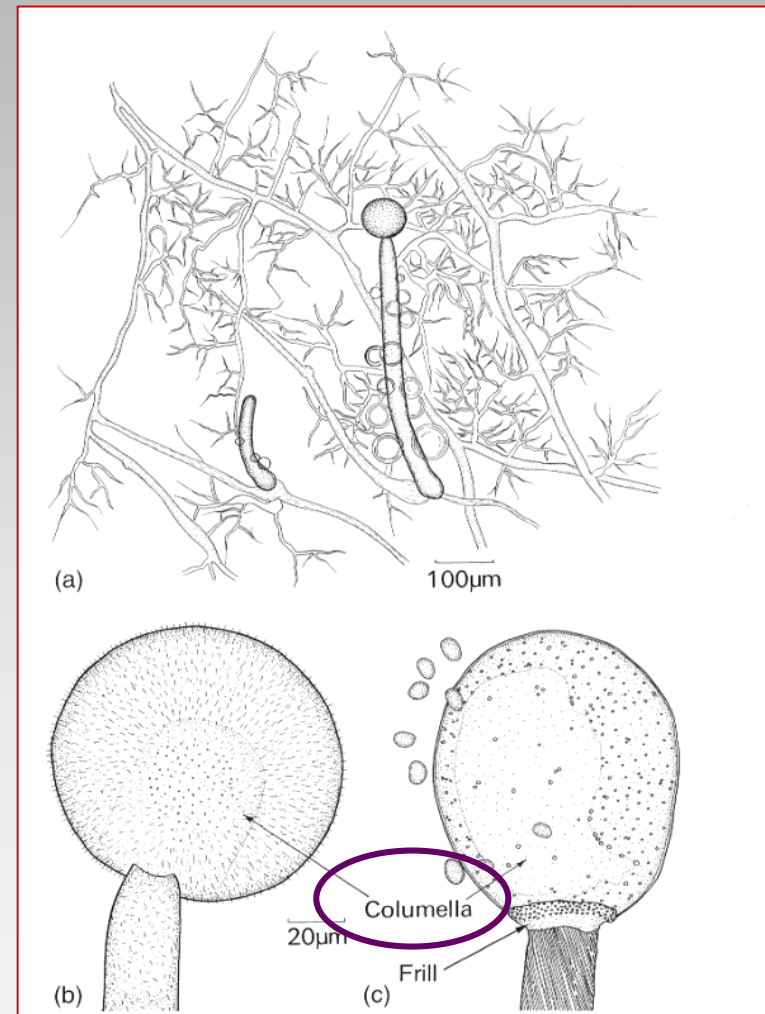


Zástupci řádu **Mucorales**

Rhizopus spp.

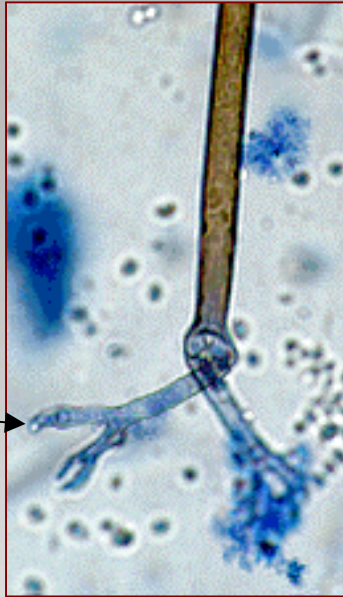


Mucor spp.

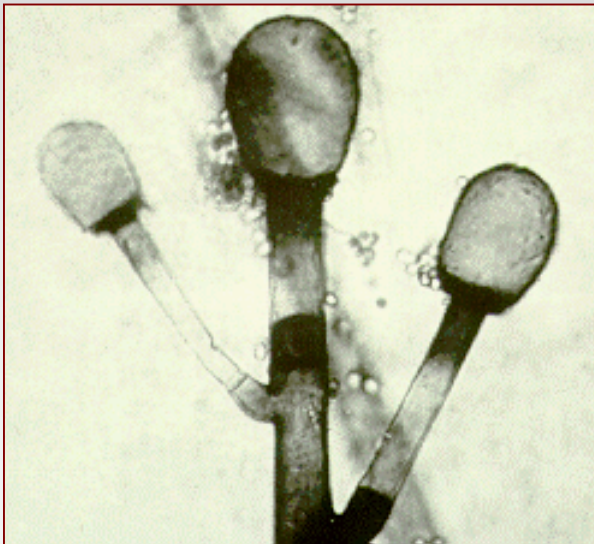


Rhizomucor pussilus

rhizoidy

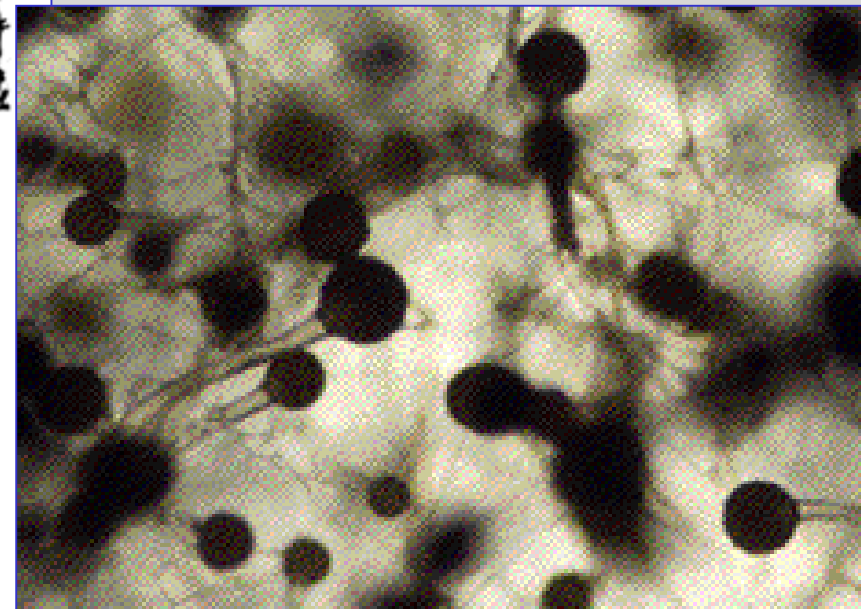
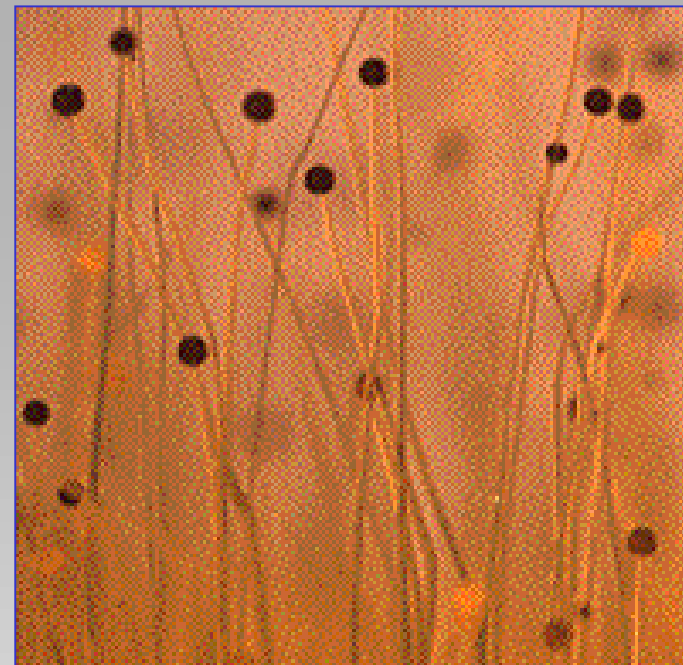
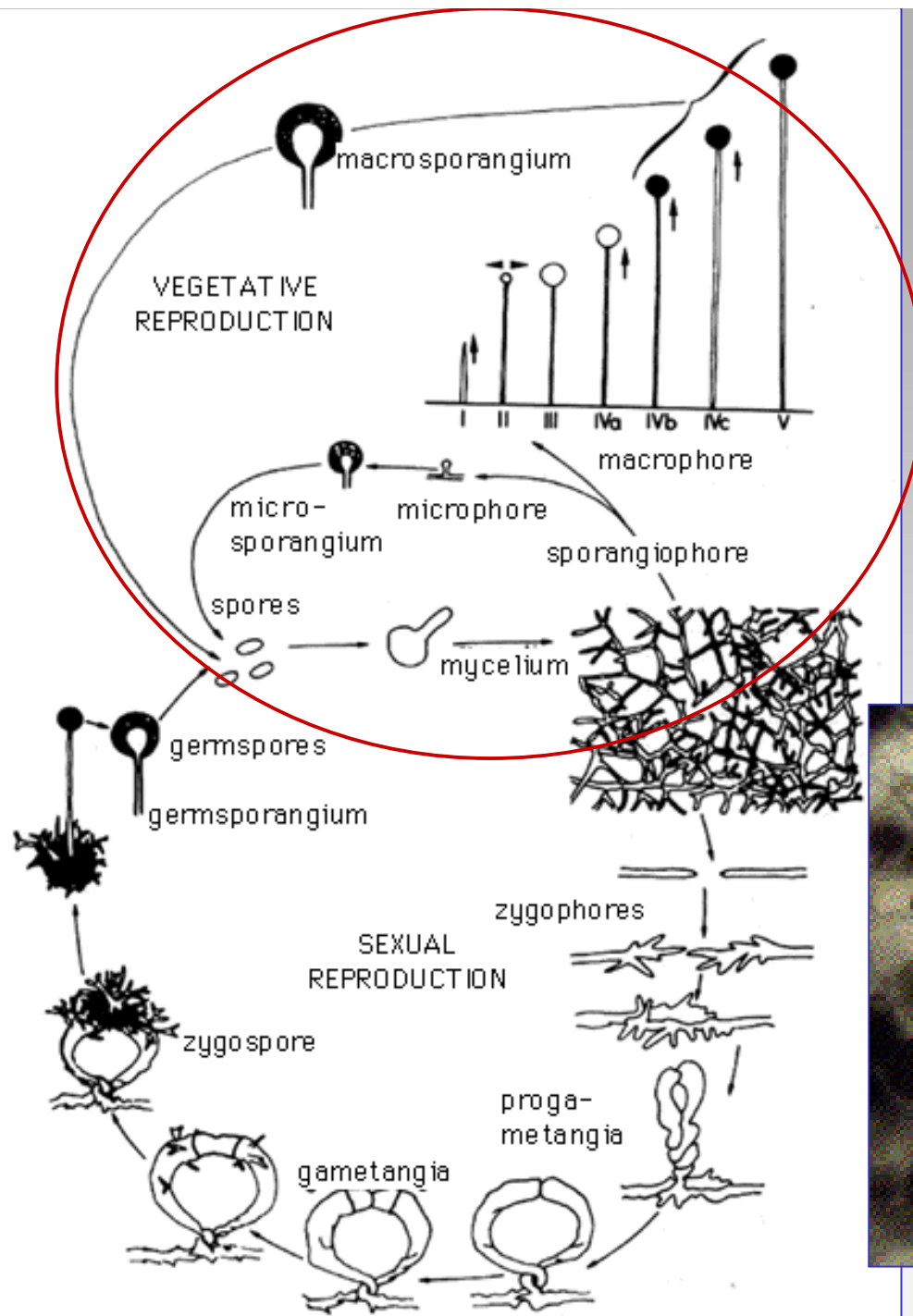


stolony



Fototropismus u Mucorales

- Rod *Phycomyces* má schopnost produkovat **makrosporangiofory** a **mikrosporangiofory** z vegetativního mycelia.
- Prodlužování sporangioforu probíhá ze žlutě pigmentované zóny (1cm dlouhá) v závislosti na intenzitě a složení světla
- Pokud světelné podmínky jsou nevhodné, rostou sporangiofory vertikálně (negativní gravitropismus)
- Příčinou jsou proteiny ve vakuolách, které mají vyšší hmotnost než obsah vakuol a shluky lipidových tělísek lehčí než cytoplasma, které plují k apexu sporangioforu.
- Sporangiofory (jejich obsah) mají refraktivní index vyšší než vzduch, chovají se jako cylindrická čočka (zaostřují světlo na stranách)
- V plasmatické membráně jsou lokalizované fotoreceptory, transmise světla zeslabuje buněčnou stěnu a indukuje růst sporangioforu
- **Fotoreceptory** – na nízkou a vysokou světelnou intenzitu, zodpovídají za formaci mikrosporangioforu, makroforů a biosyntézu karotenoidů
- V růstové zóně se tak nachází množství karotenoidů, ale hlavní fotoreceptory jsou molekuly **flavinu a pterinu**.
- Během vývoje sporangiofory rotují – typické i pro rody *Thamnidium*, *Pilobolus*



Na vrcholu sporangioforu (mnohoaderný) se tvoří **kolumela** vchlípením vnitřní vrstvy hyfy, sporangiální cytoplasma je rozdělena a vmezeřena kolem jader a za pomoci membranózních vesikulů se formují spóry.

U některých druhů (*Mucor hiemalis*, *Absidia glauca*) jsou sporangiospóry jednojaderné u jiných mnohoaderné (*Rhizopus stolonifer*, *Phycomyces*)

Sporangiální stěna může mít různou barvu, u některých druhů se na ní objevují krystaly oxalátu vápenatého

Spóry se uvolňují dvěma způsoby:

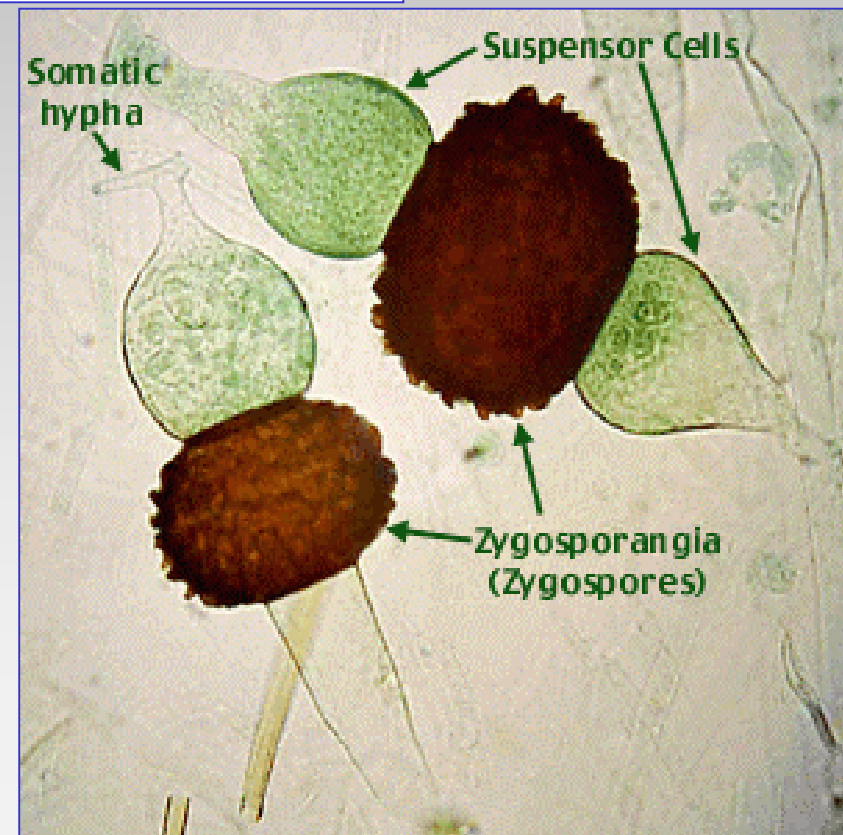
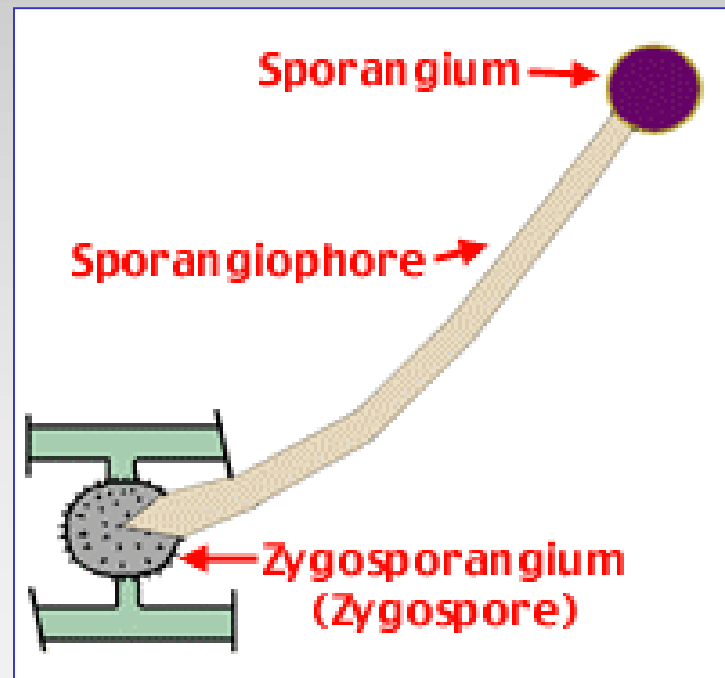
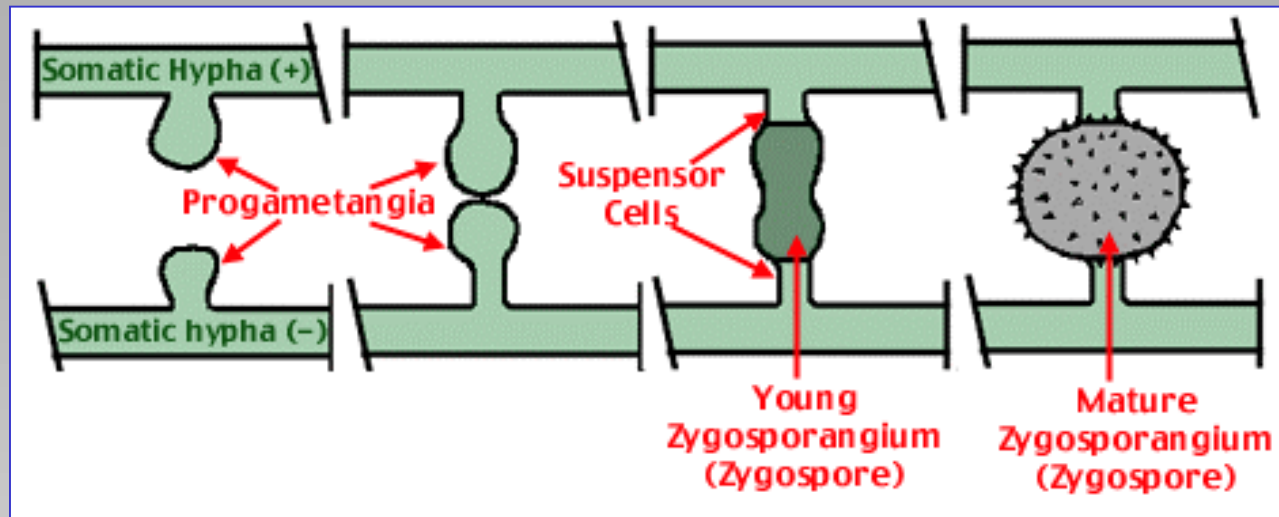
1. Sporangiální stěna se rozpustí a sporangium dozrává jako “**sporangiální kapka**” nebo sporangiální stěna postupně zeslizovává – lepivá masa spór
2. Sporangiální stěna se rozpadne na kusy a spory jsou prašné, roznášeny větrem

Pohlavní rozmnožování

- Formace gametangií – konjugace – **zygospóra =zygosporangium**
- Heterothalické a homothalické druhy

Formace zygospóry:

- Gametangia se tvoří na tzv. **zygofórech** (protilehlé hyfy s obsahem karotenoidů) a při dotyku zygofórů se tvoří **progametangia**
- **Zygotropická reakce** – zygofory na základě + a –párovacích typů rostou směrem k sobě
- **Thigmotropická reakce** – fúze gametangií a septace progametangií a formace suspensorů (zygofóry se pevně spojí pomocí lektinů)
- Hormonální reakce +typy produkují metyl trisporát a – typy trisporol



1/ **zygosporangium**

2/ **azygosporangium** formuje se partenogeneticky bez plazmogamie a karyogamie, 1 plně vyvinutý suspensor

3/ suspensory (identifikace rodů) - protilehlé izogamní

heterogamní suspensory

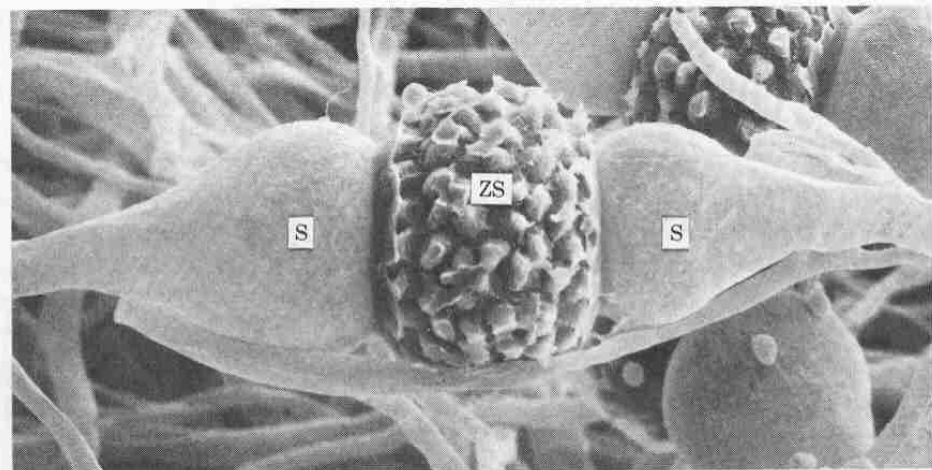


Figure 5-1 Scanning electron micrograph (SEM) of a mature zygosporangium (ZS) of *Gilbertella persicaria*. Suspensors are visible at S. [From O'Donnell et al. (1977a). Courtesy K. L. O'Donnell. By permission of the National Research Council of Canada.]

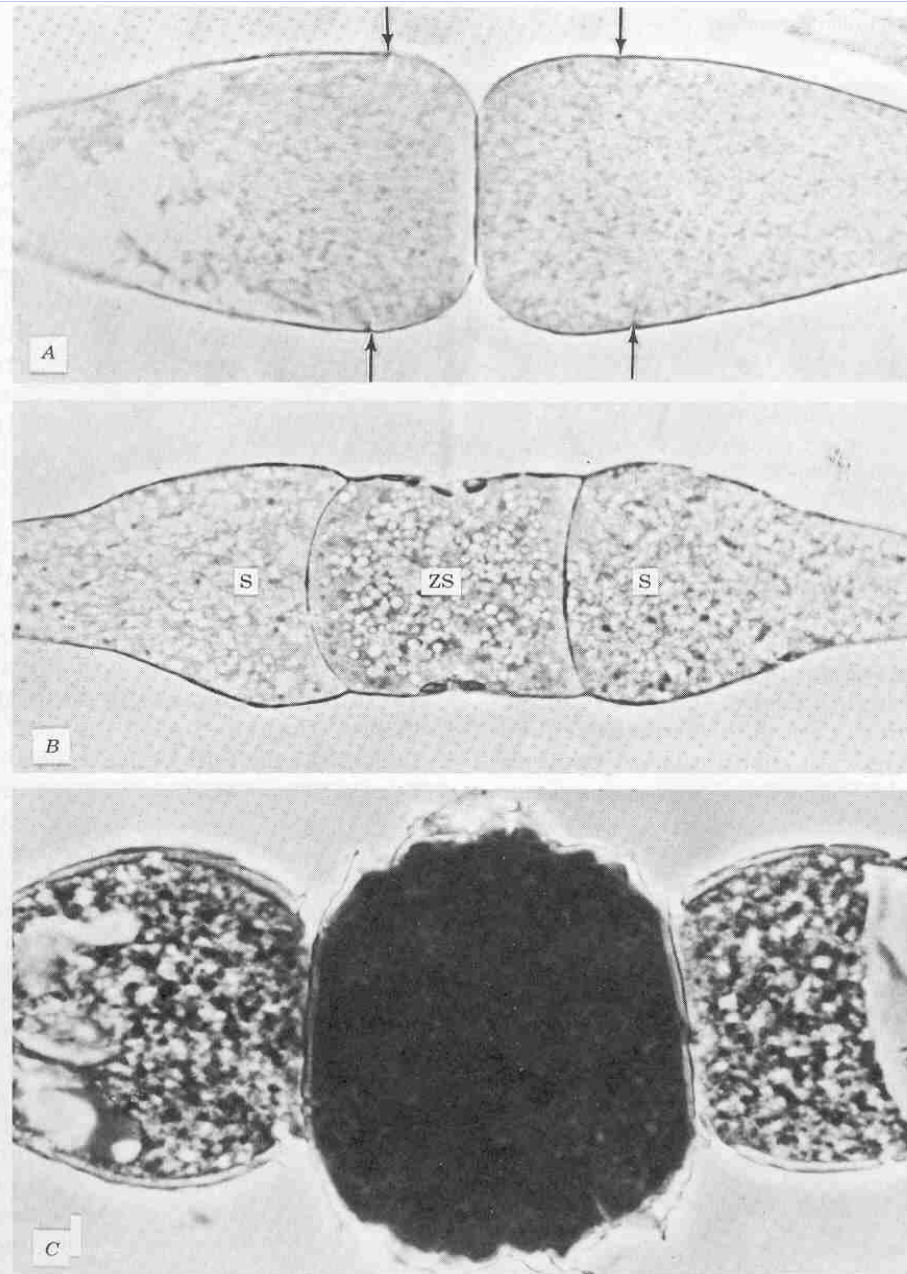


Figure 5-2 Light micrographs (LMs) of various stages of zygosporogenesis in *Gilbertella persicaria*. (A) Progametangia whose tips have fused to form the fusion septum. Delimitation of gametangial septa is just beginning (arrows). (B) Young zygosporangium (ZS) and suspensors (S). (C) Mature zygosporangium and suspensors. [From O'Donnell *et al.* (1977a). Courtesy K. L. O'Donnell. By permission of the National Research Council of Canada.]

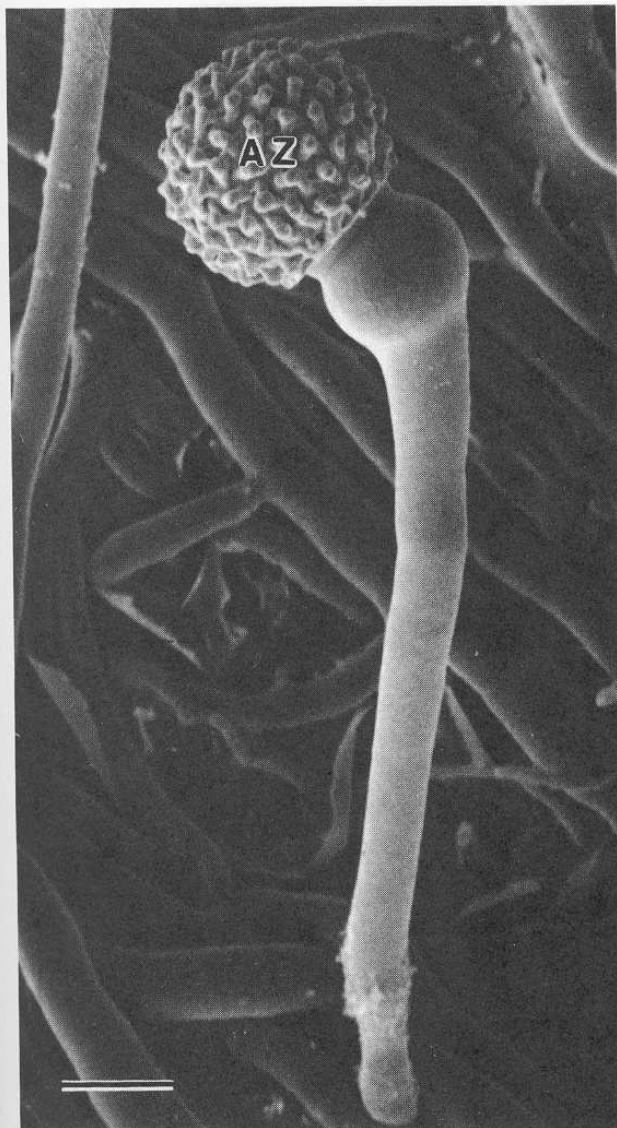


Figure 5-9 SEM of the azygosporangial apparatus of *Mucor bainieri*. The azygosporangium is shown at AZ. Bar = 10 μm . From [Ginman and Young (1993). Courtesy A. Ginman.]

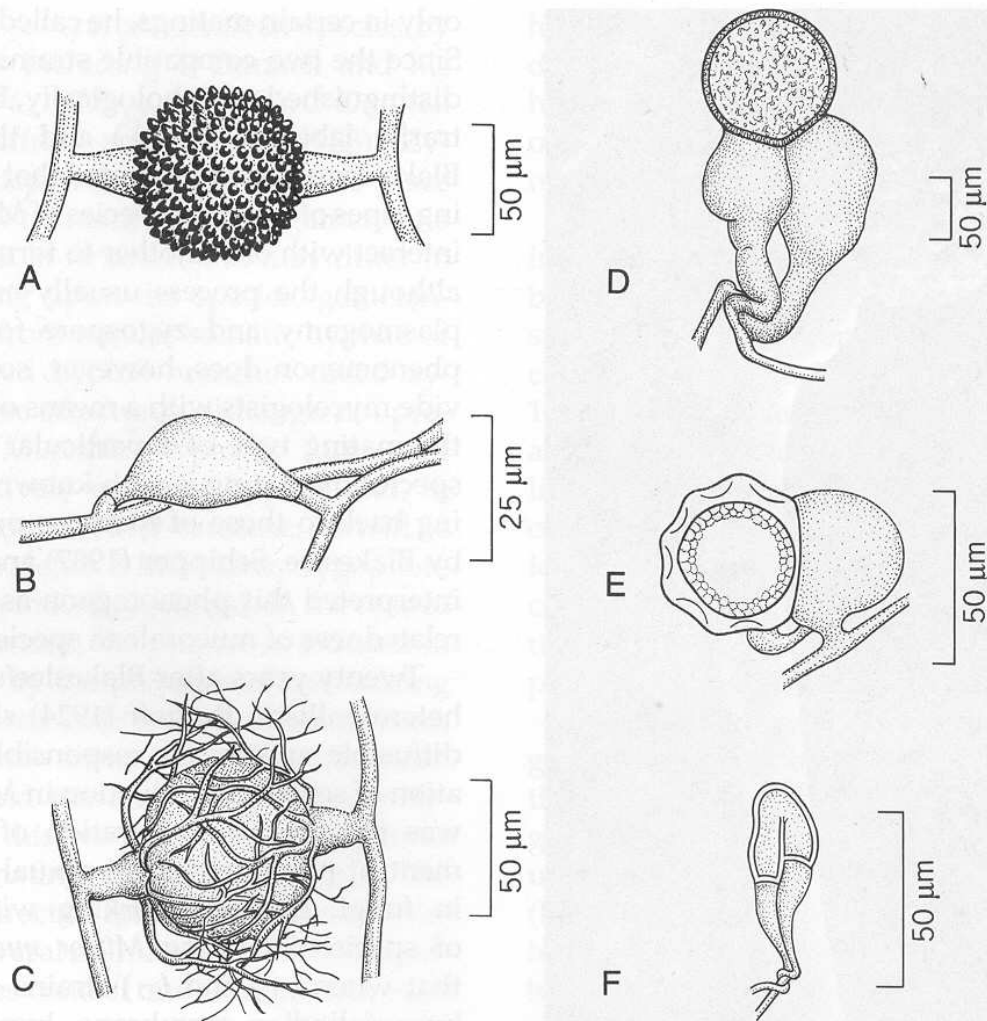
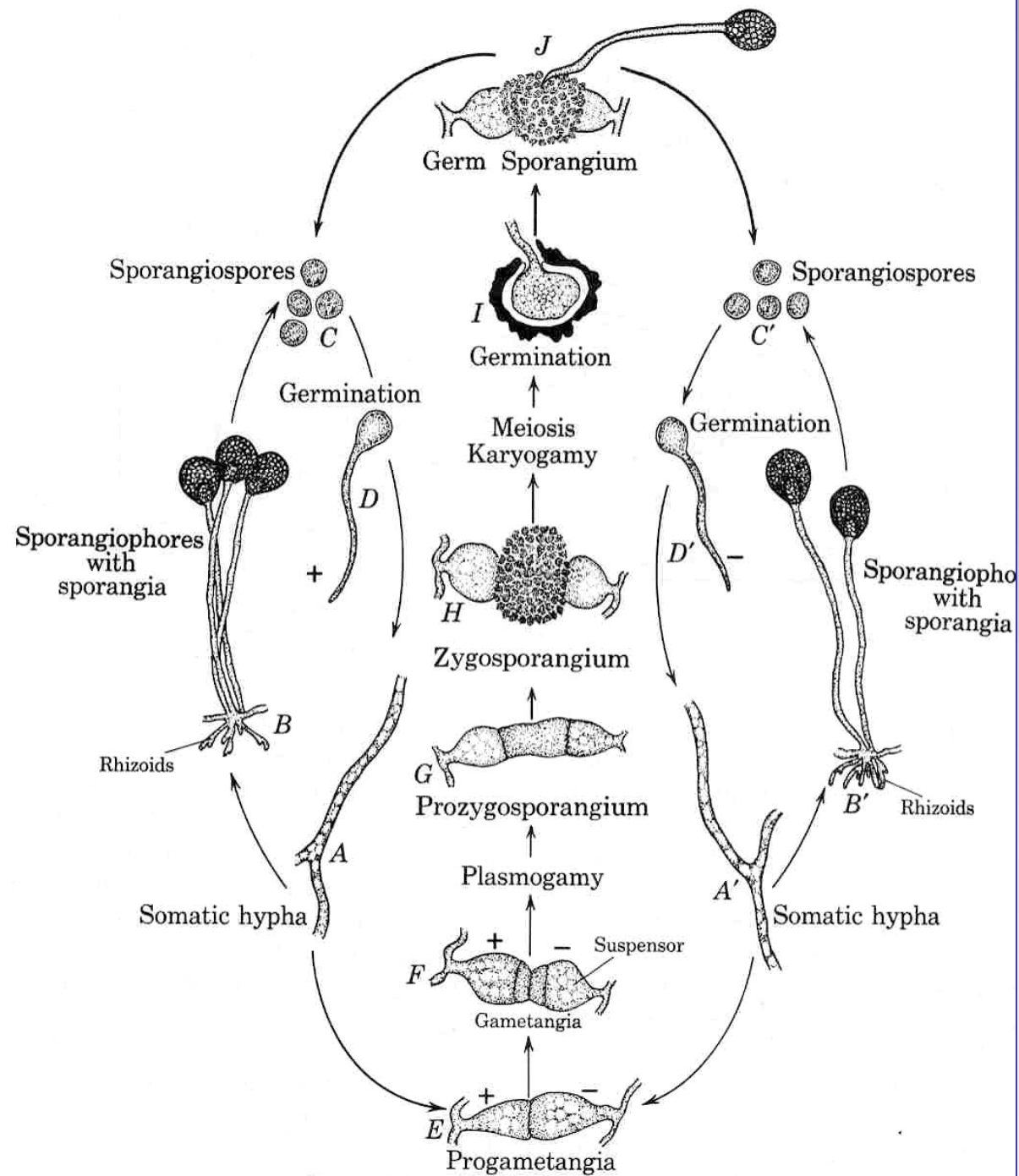
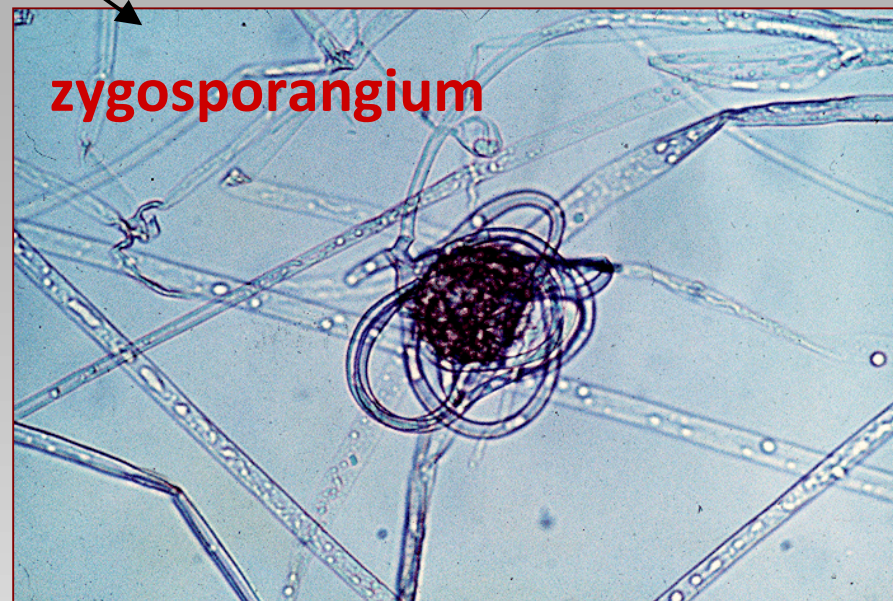


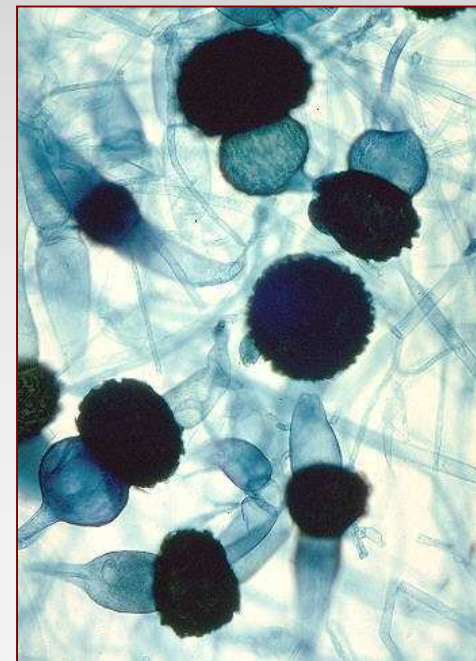
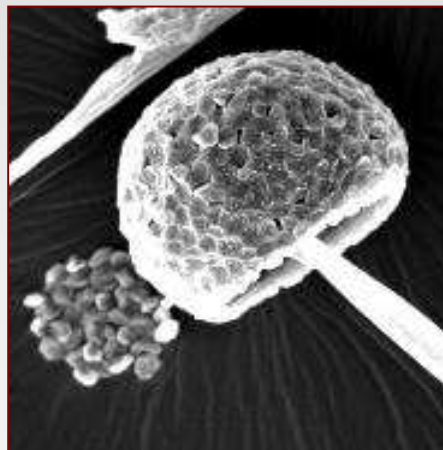
Figure 5-10 Examples of zygosporangia with opposed (A–C) and apposed (D–F) suspensors: (A) *Syncephalastrum racemosum*; (B) *Coemansia mojavenensis*; (C) *Radiomyces spectabilis*; (D) *Pilobolus kleinii*; (E) *Mortierella epigma*; (F) *Piptocephalis cylindrospora*. Bar in B = 25 μm ; all others = 50 μm . [Redrawn by Carol Gubbins Hahn from O'Donnell (1979) with permission of the author.]



Absidia glauca



Rhizopus sp.

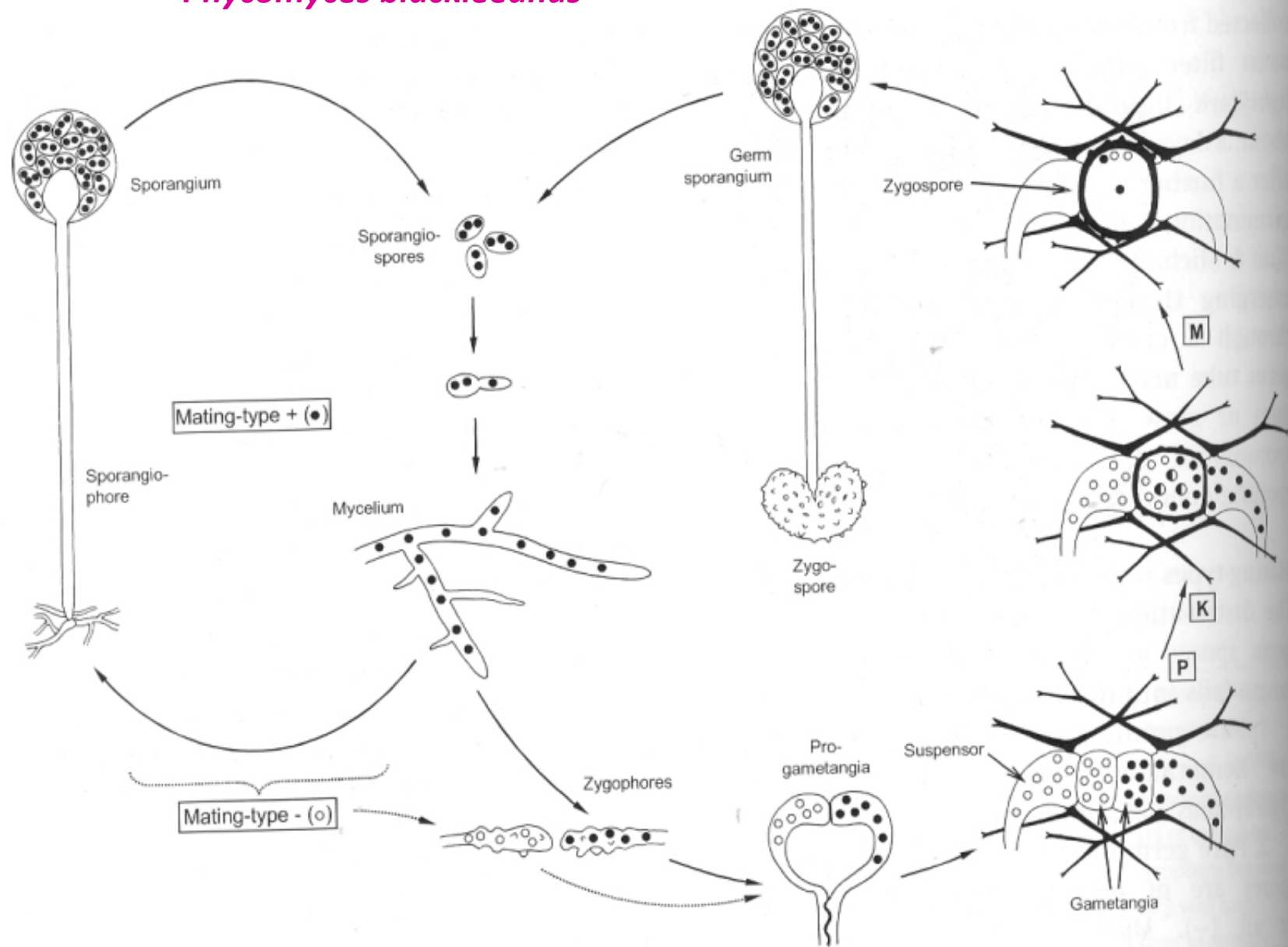


Spinellus fusiger



Spinellus fusiger (Diceranophoraceae:
Dacrydiales) on *Mycena* sp.
Savitskaya B.F.J.U.S.

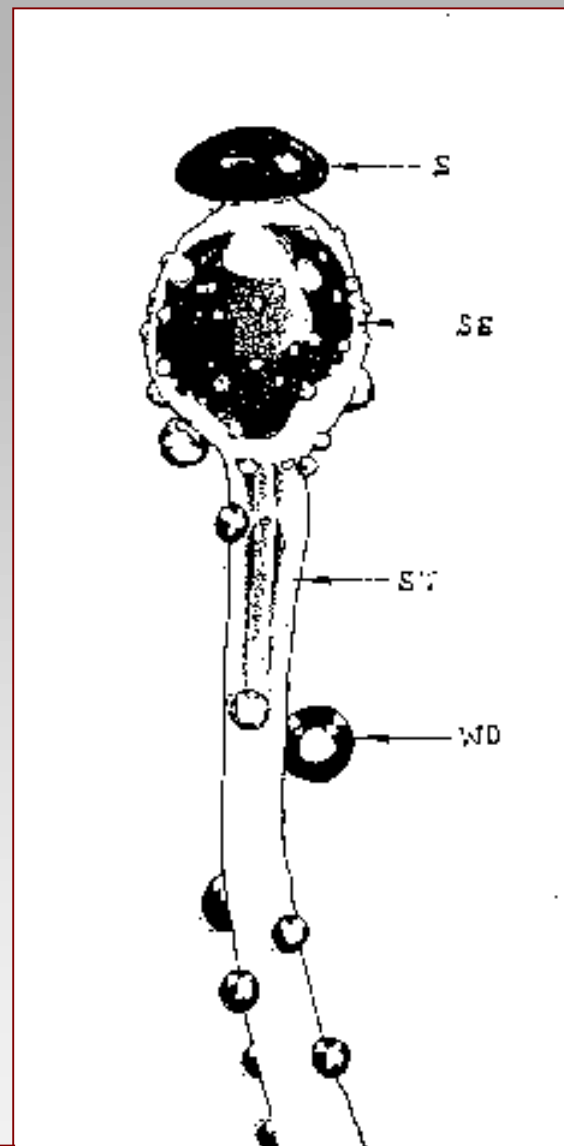
Phycomyces blackleeanus



Phycomyces blacksleeanus: Phycomycetaceae



Pilobolus kleinii: Pilobolaceae (Pilaira, Utharomyces)



Fototrofické sporangiofóry

Životní cyklus rodu **Pilobolus**

A sporangiofory (stopkaté, subsporangialní váček and sporangium)

B oddělení sporangioforu (mnohosporické)

C prázdný sporangiofor

D klíčící spóra

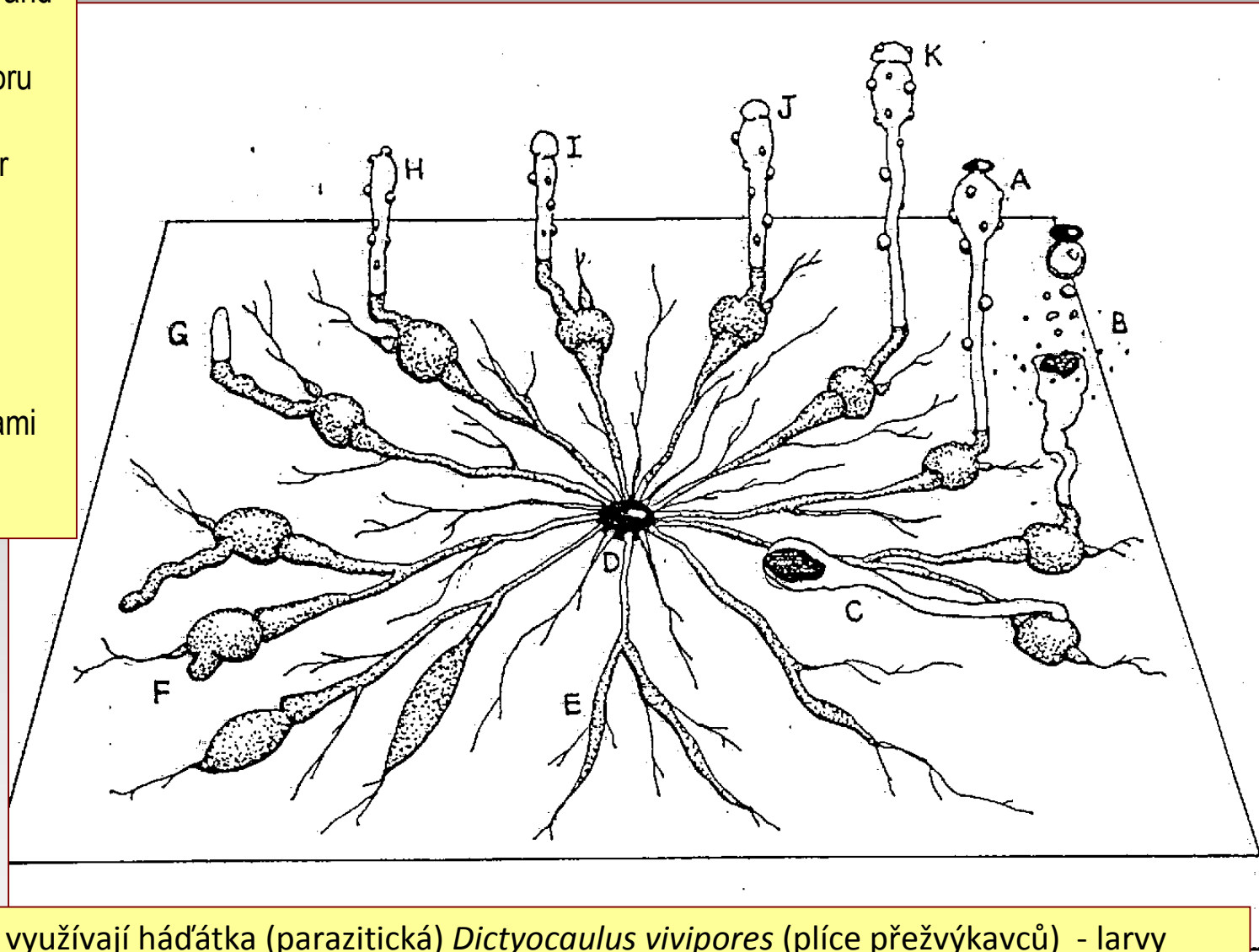
E růst mycelia

F formace trofocysty

G počátek formace sporangioforu

H sporangiofór s kapkami vody

Sporangia jsou vystřelována na trávy – býložravci – způsob transmise a některé druhy klíčí až po projití zaživacím traktem býložravců



Vystřelování spór využívají háďátka (parazitická) *Dictyocaulus vivipores* (plíce přežvýkavců) - larvy šplhají po sporangioforu a jsou vystřelovány se sporangiem (šíření)

Subphylum: **Kickellomycotina**

Saprotrofní, mykoparazitické druhy a také obligátní symbionti

Mycelium je větvené s přepážkami se centrální zátkou

Nepohlavní rozmnožování: 1-2sporická merosporangia, arthrospory

Pohlavní rozmnožování: **zygospóry**

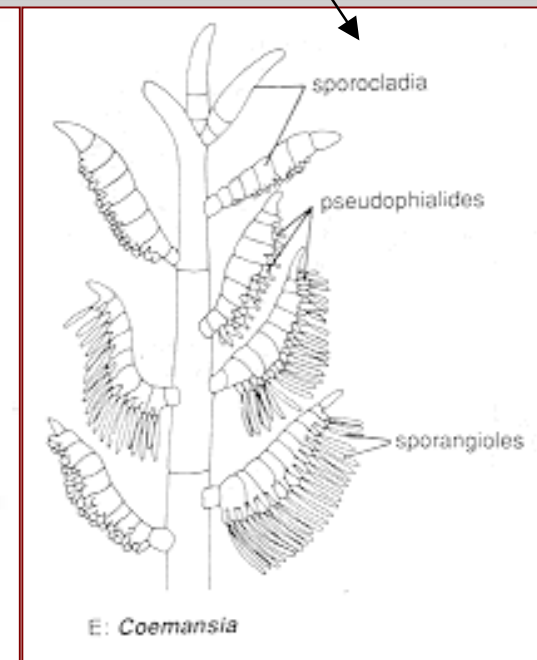
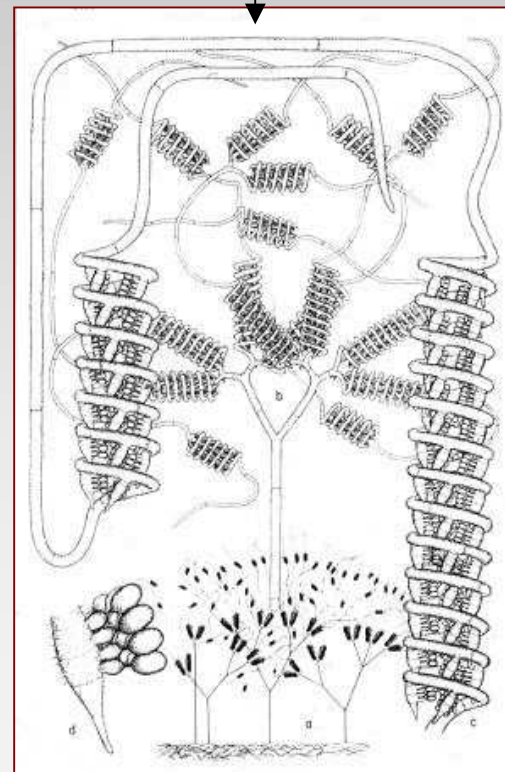
řád: **Kickxellales**

-jednospórová meiosporangia

- pseudofialidy na sporokladiích

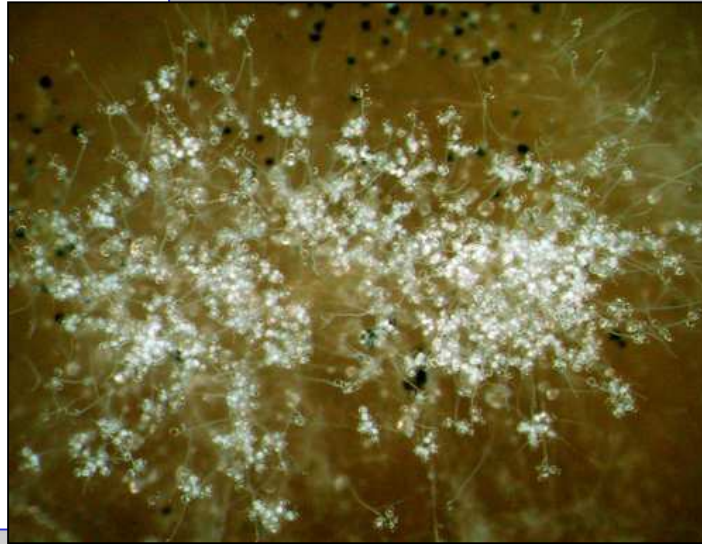
-hyfy septované

Kickxella alabastrina, *Coemansia* sp. a ***Spirodactylon***
(jeskyně netopýří trus)



Řád **Dimargaritales**

- parazité **mukorovitých** druhů (haustoria)
- septátní mycelium
- dvouspórová zygosporangia
- rody: *Spinalia*, *Dimargalis*, *Dispira*

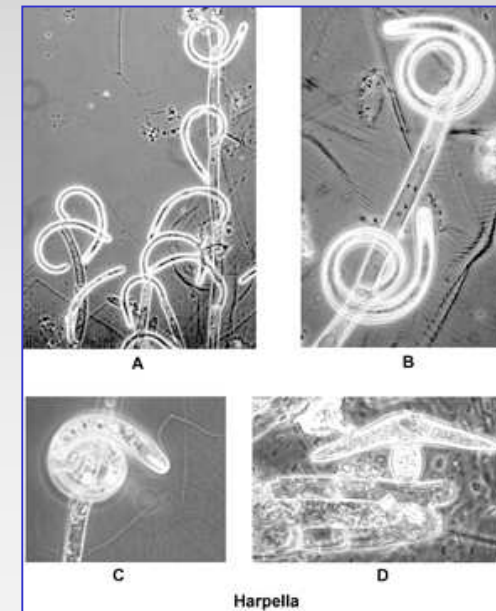


Dispira cornuta

Haustoriální parazit Zygomycet a Ascomycet

Řád: **Harpellales**

- Stélka jednoduchá nebo větvená
- Nepohlavní rozmnožování: trichospóry
- Cca 35 druhů
- Komensálové
- *Harpella*, *Furculomyces*, *Legeriomyces*, *Smittium*



Subphyllum: **Entomophthoromycotina**

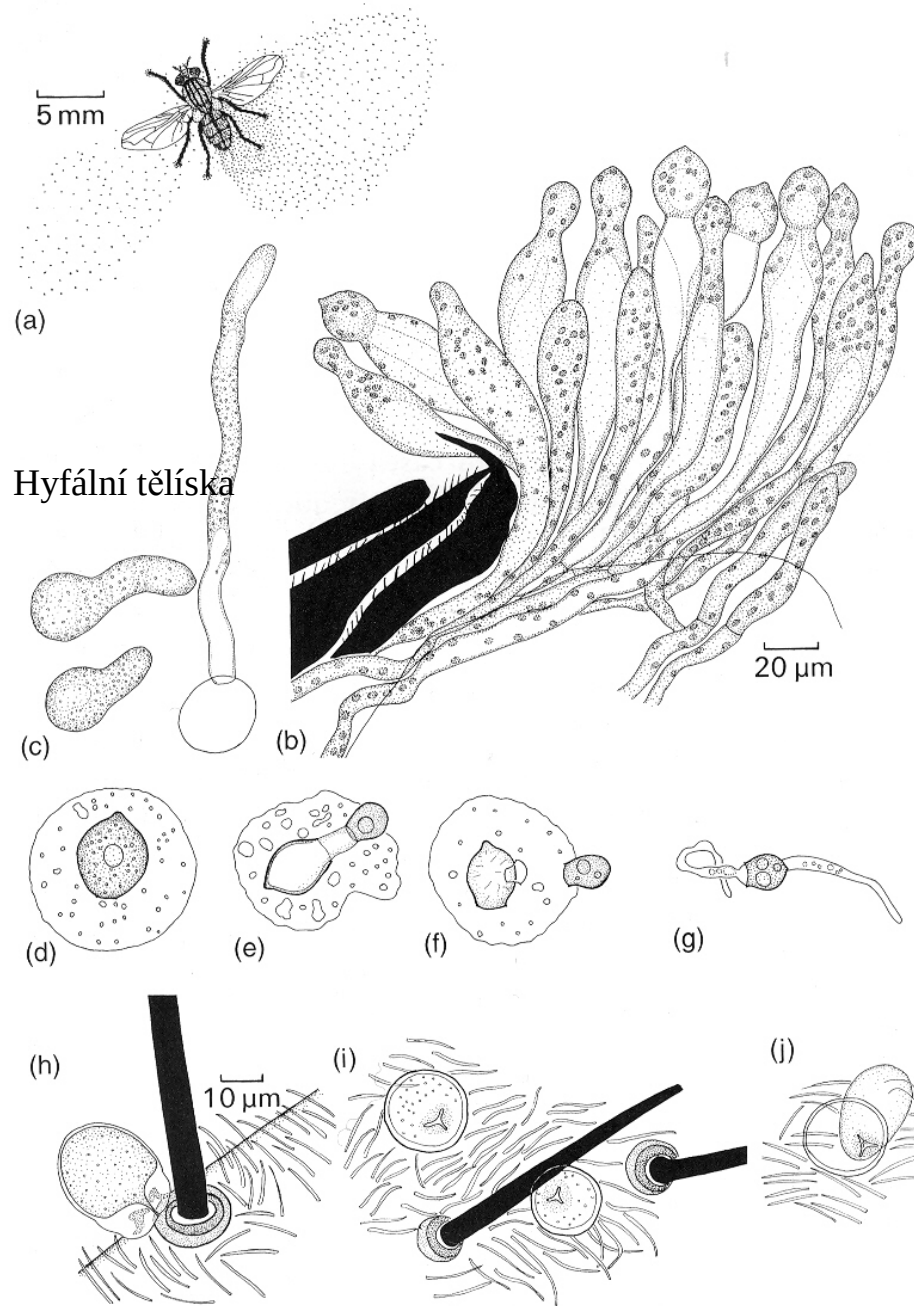
Řád: Entomophthorales

č. Entomophthoraceae (*Empusa muscae*) – entomofágní druhy, biotófní parazité

č. Basidiobolaceae (*Basidiobollus*, *Conidiobollus*) – saprofytické a zoofágní druhy



Empusa musca

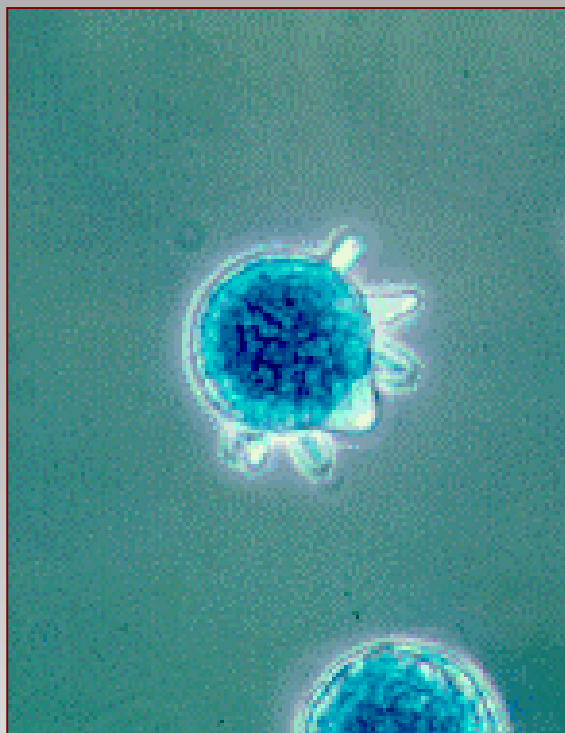


Palisádové nevětvené
sporangiofóry ve skeletonu hmyzu,
mnohojaderné

Primární sporangiospóra je obklopena
cytoplasmou produkuje sekundární
sporangiospóru a ta klíčí



Empusa musca PrfJU Kavkova



Conidiobolus coronatus
(*Entomophthora coronata*)



Konidie (kapillikonidie) s přívěsky (villy)

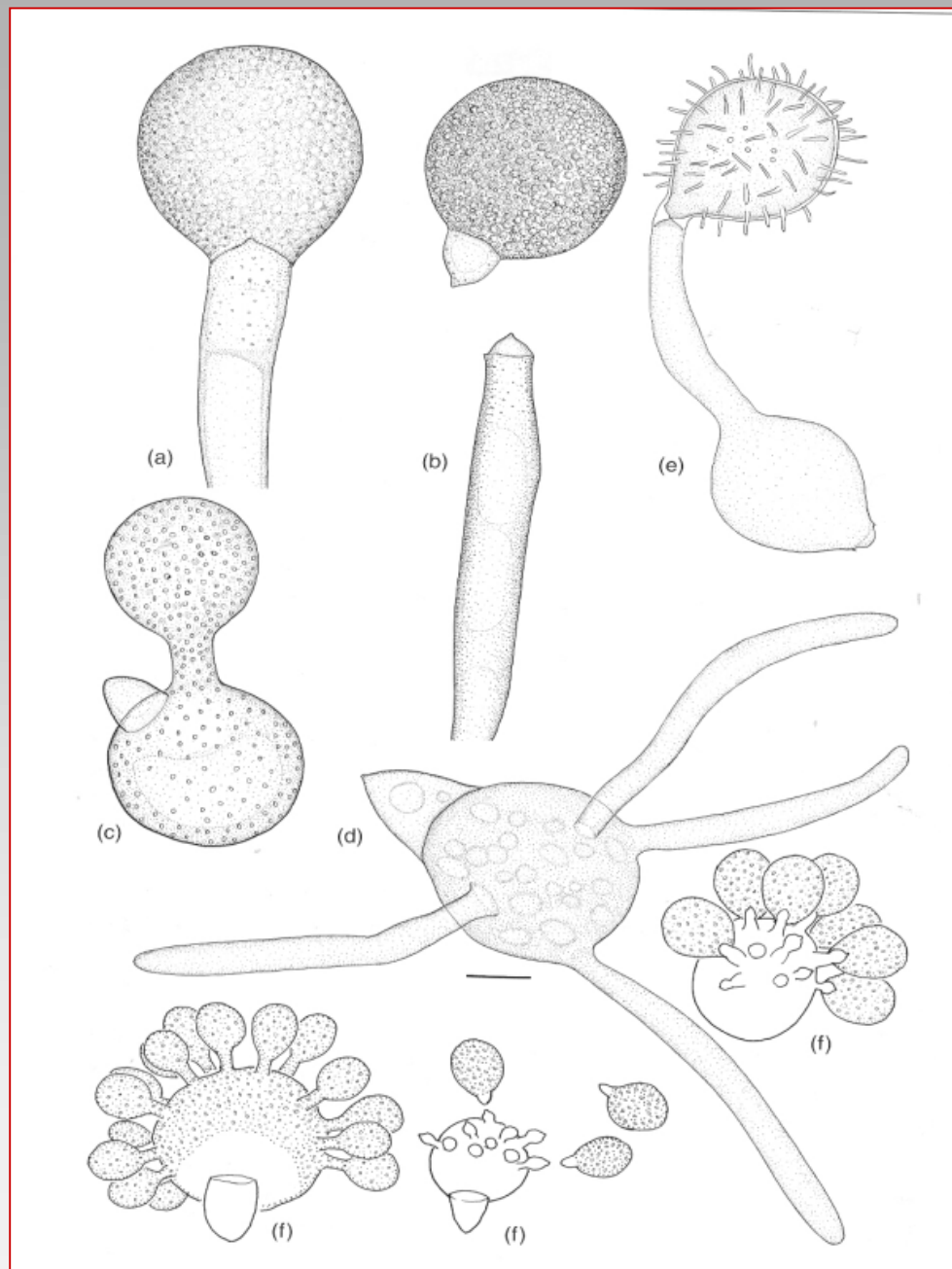
jsou vystřelovány až 4 cm, konidiofóry jsou fototropické, produkce a vystřelování konidií je indukováno světlem.

Mohou produkovat primární a sekundární konidie.

Primární konidie, které nevyklíčí mohou tvořit 2-3 vrstevnou stěnu – **lorikonidie**

Není známa tvorba zygospór.

Parazit mšic, termitů a molic. (insekticidní protein)



Conidiobolus coronatus

a konidiofor s primární konidií

b uvolněná konidie

c primární konidie klíčí v sekundární konidii

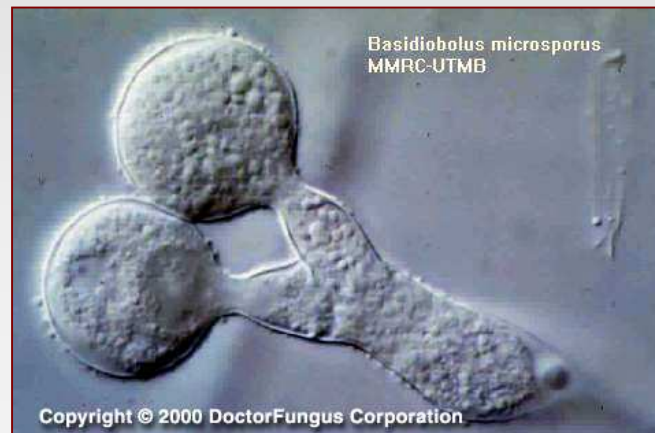
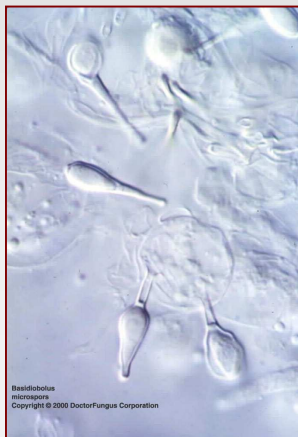
d konidie klíčí přímo několika klíčky

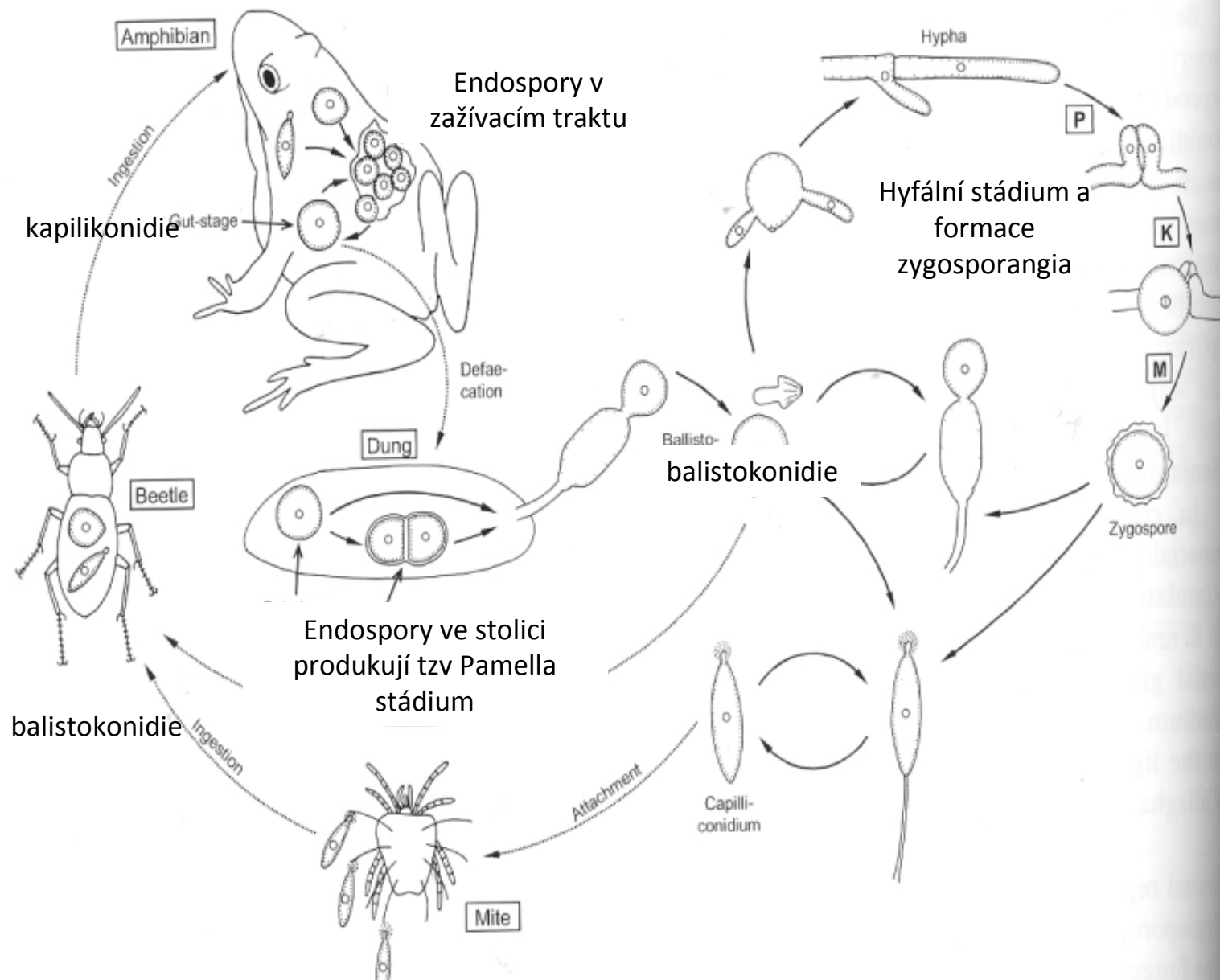
e konidie klíčí tak, že produkuje vilózní sekundární konidii

f Konidie klíčí tak, že produkuje spoustu mikrokonidií

Basidiobolus sp.

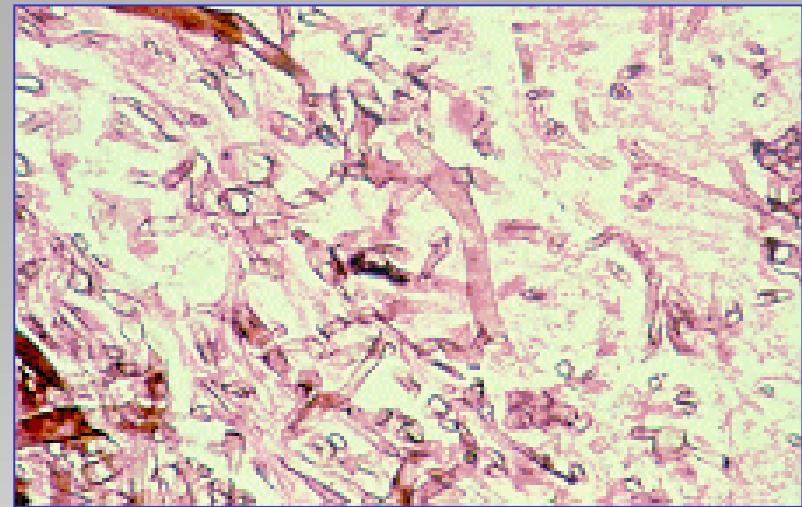
- Somatické mycelium je septátní – jednojaderné úseky
- Kvasinkovitá tělíška s velkými jádry
- Útvary nepohlavního rozmnožování – konidiofóry a konidie – primární (vystřelované) a sekundární konidie (vystřelování nebo kapillikonidie s hapterami)
- Hexachloridový zápach
- *Basidiobolus* – primární saprofyte nebo fakultativní parazit
- Isoláty (*Basidiobolus ranarum*) parazitující na lidech produkují melanin, ostatní parazitující na zvířatech NE
- Transmise do organismu: obojživelníci – trávícím traktem přes hmyz (přenašeč kapilokonodií)



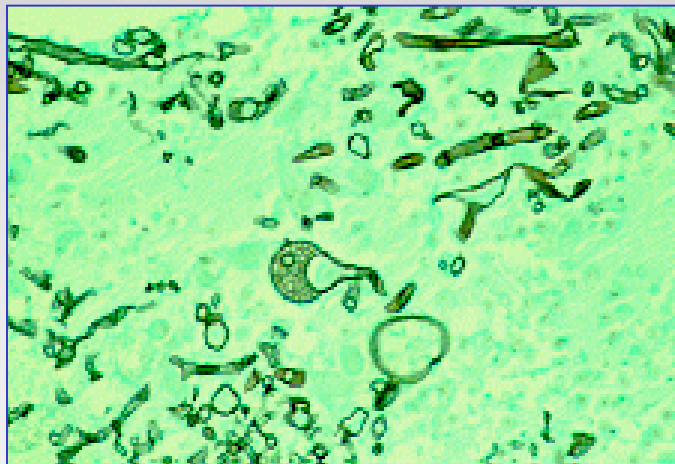




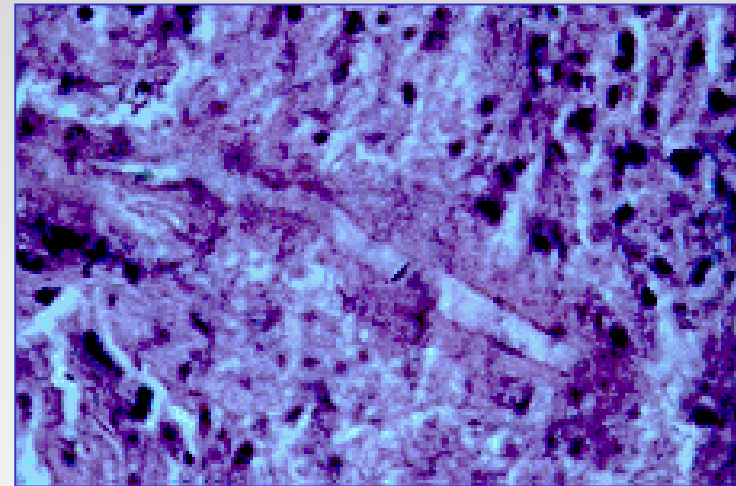
Basidiobolus ranarum



Basidiobolus ranarum



Absidia corymbifera



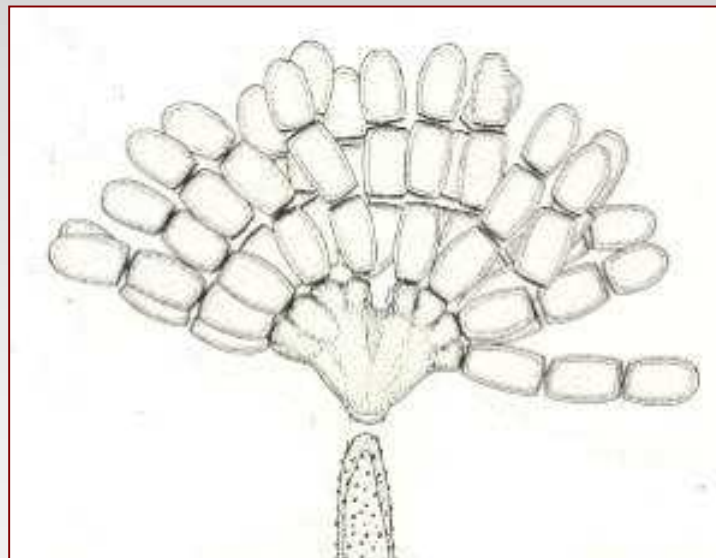
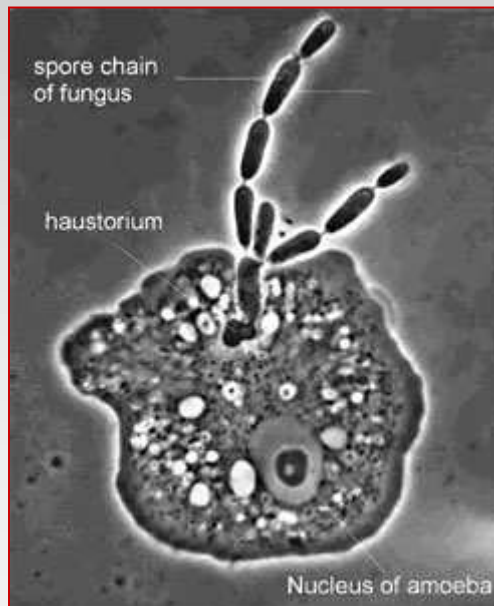
Subphyllum: Zoopagomycotina

- Endo nebo ekto parazité hub, améb a háďátek
- Jednoduchá větvená nebo nevětvená stélka
- Ektoparazité formují haustoria
- Nepohlavně se rozmnožují pomocí arthrospór, chlamydospór nebo sporangiol, merosporangií
- Pohlavní spóry –zygospóry

Řád: Zoopagales

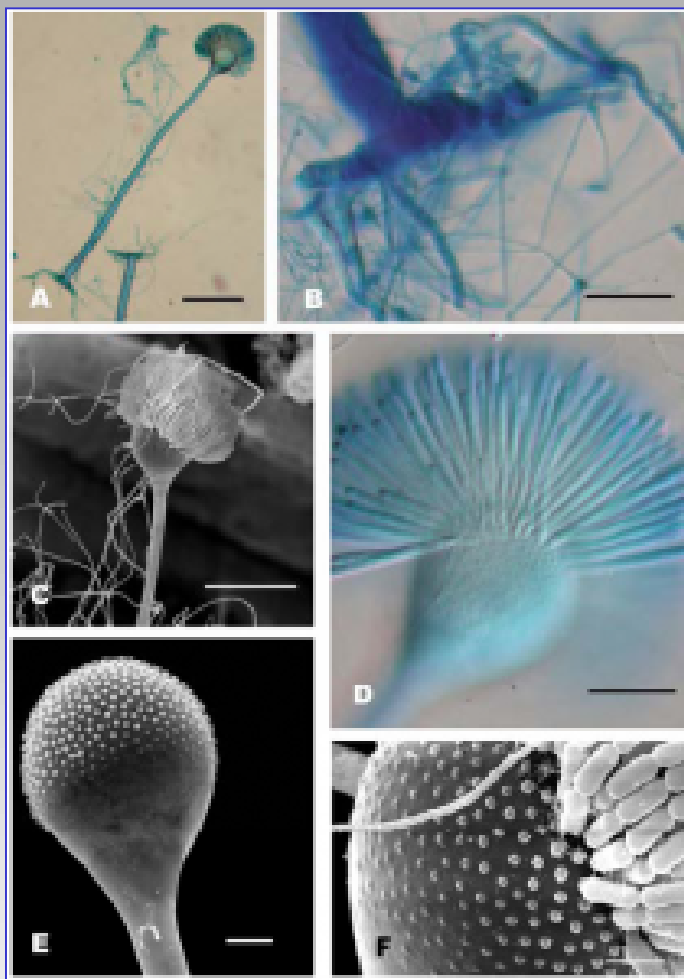
č: Zoopagaceae – *Zoopage*, *Amoebophilus* etc.

č: Pipthocephalidaceae - *Syncephalis*, *Piptocephalis*,



Amoebophilus simplex (Zoopagales) na amebě.

Synccephalis



Piptocephalis



Zvídavá otázka: zakresli a popiš konidiofor rodu *Aspergillus* sp. a sporangiofór rodu *Mucor* sp. Jaké jsou mezi nimi rozdíly?

Použité zdroje informací:

www.zygomycetes.org

Moore D. et al., 21st Century Guidebook to Fungi with CD

<http://www.mycoweb.com><http://www.mycology.com>

<http://www.ucmp.berkeley.edu/fungi/fungisy.html>

<http://www.mykoweb.com/systematics.html>

<http://www.biolib.cz/>

<http://tolweb.org/Fungi>

<http://www.mycology.com>

<http://www.mycorrhizas.org/>

<http://www.ffp.csiro.au>

Alexopoulos C.J., Mims C.W., Blackwell (1996)
Introductory Mycology pp 868

Kendrick (1996) The fifth kingdom

Jennings & Lysek (2004) Fungal biology

Webster J. and Weber R.W.S (2005) Introduction to
mycology